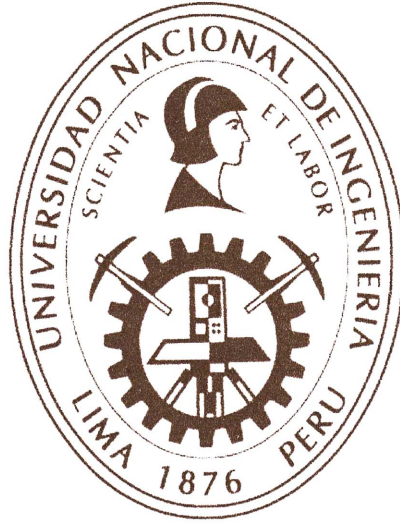


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Ingeniería Mecánica



TESIS

“Análisis de la reducción de costos del servicio de alumbrado público en una empresa de distribución de energía eléctrica del sur del Perú con luminarias led respecto a los de vapor de sodio de alta presión - VSAP”

Para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista

Elaborado por

Luis Edgar Zúñiga Figueroa

 [0009-000584456703](https://orcid.org/0009-000584456703)

Asesor

MSc. Ing. Bernabé Tarazona Bermúdez

 [0000-0002-0960-448X](https://orcid.org/0000-0002-0960-448X)

LIMA - PERÚ

2023

DEDICATORIA

Mi agradecimiento al Ing.
Bernabé Tarazona por su
experiencia que se reflejó en
orientación y apoyo

Resumen

El presente trabajo de investigación: “Análisis de la reducción de costos del servicio de alumbrado público en una empresa de distribución de energía eléctrica del sur del Perú con luminarias LED respecto a los de vapor de sodio de alta presión – VSAP” mediante la investigación cuantitativa evalúa el impacto de la innovación tecnológica con luminarias LED respecto a VSAP en la facturación del servicio de alumbrado público, sobre la protección del medio ambiente y su viabilidad técnica económica en una empresa de distribución eléctrica.

La hipótesis planteada sobre el análisis del uso de luminarias LED respecto a los de VSAP permitirá la reducción de costos del servicio de alumbrado público en una empresa de distribución de energía eléctrica del sur del Perú, es positiva

El cambio tecnológico del alumbrado público en la empresa bajo estudio donde predominan las lámparas de VSAP; permite reducir la demanda de 9.68 MW a 5.55 MW, equivalente al 45%.

En el periodo de análisis, la facturación del servicio de alumbrado público con lámparas VSAP es S/. 30,918,977.10, mientras que con la tecnología LED es S/. 18,926,061.66, reduciéndose en 39%.

En relación al potencial de ahorro energético y las emisiones, se reduce en 43% al año, la cantidad de CO₂ dejada de emitir al año equivale a 8,184.61 TON.

El VAN calculado es US\$ 1,455,469.07, la TIR 9.81% mayor del 8.7% de la tasa de descuento del sector y dentro del +/- 4% de la tasa establecida (12%); hacen viable económicamente la implementación del cambio tecnológico.

Palabras clave - Facturación de alumbrado público, lámpara de vapor de sodio, lámpara LED y ahorro energético.

Abstract

The present research work: "Analysis of cost reduction of public lighting service in a south Peruvian distribution electricity company with LED luminaries respect to high pressure sodium lamps - HPSL" through quantitative research assesses the impact of technological innovation with LED luminaries respect to HPSL in the public lighting service, on protection of environment and its economic viability in the electricity company.

The hypothesis held about analyses of LED luminaries use than HPSL will allow cost reduction of public lighting service in a south Peruvian distribution electricity company, is positive

The technological change in public lighting in the company under study with predominancy HPLS lamps, will allow to reduce the electricity demand from 9.68 MW to 5.55 MW, it means 45%.

In the period of study, according of public lighting billing analysis with HPLS lamps luminaries is S/. 30,918,977.10, while with LED lamps is S/. 18,926,061.66, reducing by 39%.

About energy saving and carbon dioxide emitting it is observed a reducing by 43%. The carbon dioxide stopped of emitting is 8184.61 TON per year.

The net present value is US\$ 1455469.07, the investment return is 9.81% higher than opportunity cost stablished in electricity area, 8.7% and between +/- 4% of 12% investment rate stablished; therefore, the technological change of public lighting with LED luminaries is viable economically.

Keywords - Public lighting billing, high pressure lamp, LED lamp and energy saving.

PROLOGO

En el presente trabajo de investigación se analiza y determina el impacto de la innovación tecnológica con luminarias LED respecto a vapor de sodio de alta presión (VSAP) en la facturación del servicio de alumbrado público en una empresa de distribución de energía eléctrica del sur del Perú bajo la normativa establecida al respecto.

El periodo de evaluación de la facturación de la referida innovación tecnológica corresponde al año 2020; en el mismo, en la empresa bajo estudio, las instalaciones de alumbrado público están conformadas por un total 151,382 luminarias con una potencia instalada de 11.25 MW; 126,958 unidades corresponden a la tecnología de VSAP con una potencia equivalente a 9.68 MW; por tanto, el análisis del uso de luminarias LED respecto a los de VSAP permitirá determinar la reducción de costos del servicio de alumbrado público en la referida Empresa; situación que contribuiría a un menor pago por dicho servicio

La estructura del presente trabajo está dividida en capítulos y a continuación se muestra un breve alcance de cada uno de ellos:

En el **primer capítulo** se hacen referencia genérica al propósito del trabajo motivo de la investigación. Luego se describe el problema de la investigación para, seguidamente, enunciar el problema principal que señala: en qué medida las luminarias led respecto a los de vapor de sodio de alta presión influye en los costos de facturación del servicio de alumbrado público en una empresa de distribución de energía eléctrica del sur del Perú; finalmente, se presentan publicaciones o antecedentes existentes, autores que trataron temas relacionados al motivo de la presente investigación.

En el **segundo capítulo** se trata lo referente al marco teórico, este capítulo brinda el marco teórico que sustenta la investigación con las teorías generales relacionadas con el tema y las bases teóricas especializadas sobre el mismo; así como las normativa

técnica general y específica relacionada al alumbrado público y a la facturación de dicho servicio; asimismo, en el marco conceptual se definen los términos que se utilizan dentro de la investigación, además, se citan las referencias bibliográficas que se han consultado.

En el **tercer capítulo** se presenta la hipótesis principal de la investigación y las hipótesis secundarias, luego se operacionalizan las variables, dependiente (Facturación de alumbrado público) e independiente (consumo de energía de alumbrado público).

En el **cuarto capítulo** se presenta el tipo y nivel de la investigación, el método y diseño de la investigación, las técnicas e instrumentos de recolección de la información, la metodología que se ha seguido y su procesamiento para el análisis respectivo; finalmente, se presenta la matriz de consistencia.

El **quinto capítulo** corresponde al desarrollo del trabajo de investigación donde se describe a la empresa concesionaria en el periodo evaluado en relación al número de usuarios, importe de la facturación, situación de lámparas de alumbrado público, potencial de reducción de alumbrado público; cálculo de equivalencia lámparas VSAP y LED, cálculo de diversos factores que interviene en la facturación de alumbrado público que permiten evaluar el impacto económico del reemplazo de lámparas LED en la facturación de dicho servicio. Además, se presenta la comparación de la evaluación económica de la inversión entre el sistema de luminaria convencional y LED y, finalmente, la evaluación de la influencia de la sustitución de luminarias de VSAP con su equivalente tecnológico LED en la reducción de emisiones gases de efecto invernadero.

El **sexto capítulo** está referido a la presentación de resultados que confirman que el análisis del uso de luminarias LED respecto a los de vapor de sodio de alta presión - VSAP permite la reducción de costos del servicio de alumbrado público en una

empresa de distribución de energía eléctrica del sur del Perú; así como, la viabilidad económica de su implementación y la protección del medio ambiente.

Luego se mencionan las conclusiones a las cuales se ha llegado a través del desarrollo de la investigación; y las recomendaciones que se brindan.

Finalmente, se muestran las fuentes de información utilizadas para el apoyo en la elaboración de la investigación, concluyendo con los anexos respectivos.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	II
RESUMEN.....	III
ABSTRACT.....	IV
PROLOGO.....	V
ÍNDICE.....	VIII
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Descripción del problema de investigación.....	2
1.2.1 Problema general.....	6
1.2.2 Problemas específicos.....	6
1.3 Objetivos del estudio.....	7
1.3.1 Objetivo general.....	7
1.3.2 Objetivos específicos.....	7
1.4 Antecedentes investigativos.....	7
CAPITULO II: MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL.....	12
2.1 Marco teórico.....	12
2.1.1 Alumbrado público.....	12
2.1.2 Beneficios del alumbrado público.....	12
2.1.3 Evolución del alumbrado público.....	13
2.1.4 Normas relacionadas al alumbrado público y a la facturación del servicio de alumbrado público.....	15
2.1.4.1 Norma técnica DGE “Alumbrado de vías públicas en zonas de concesión de distribución”.....	15
2.1.4.2 Ley de Promoción del Uso Eficiente de la Energía.....	19
2.1.4.3 Fichas de homologación de luminarias LED de alumbrado público.....	20
2.1.4.4 Cálculo del porcentaje máximo de facturación por el servicio de alumbrado público.....	22
2.1.4.5 Factor KALP.....	25

2.1.5	Conceptos básicos de alumbrado público.....	25
2.1.6	Características de las fuentes de Luz.....	28
2.1.7	Tipos de lampara.....	31
2.1.8	Lámparas de vapor metálico.....	32
2.1.9	Lámpara de vapor de sodio de alta presión.....	32
2.1.10	Lámparas con LEDs.....	34
2.1.11	Sistemas de control binning	34
2.1.12	Tecnología LED	35
2.1.12.1	Clasificación de los LED (light emitting diode).....	37
2.1.12.2	Componentes de la tecnología LED.....	44
2.1.13	Diferencias entre la tecnología VSAP y LED	48
2.1.14	Equivalencias de lámparas de VSAP y LED.....	50
2.1.15	Telegestión del alumbrado público.....	53
2.1.16	Valor agregado de Distribución – VAD.....	56
2.1.17	Sector de distribución típico	56
2.1.18	Emisiones de dióxido de carbono.....	57
2.1.19	Eficiencia energética	58
2.1.20	Evaluación del proyecto	59
2.1.21	Costo de capital promedio ponderado (WACC):.....	59
2.1.22	Análisis costo-beneficio.....	60
2.1.23	Valor actual neto social	60
2.1.24	Valor actual de costos.....	61
2.1.25	Tasa Interna de Retorno.....	61
2.1.26	Horizonte de evaluación.....	62
2.1.27	Emisiones indirectas de la generación de electricidad y de calor	62
2.1.28	Beneficios por disminución de gases de efecto invernadero	62
2.1.29	Cuantificación de las emisiones	63
2.1.30	Factores de emisión.....	64
2.1.31	Valoración del ahorro en emisiones	64
2.2	Marco conceptual.	64
CAPÍTULO III: HIPOTESIS Y OPERACIONALIZACION DE VARIABLES		67

3.1	Hipótesis general.....	67
3.1.1	Hipótesis específicas	67
3.2	Operacionalización de variables	67
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		69
4.1	Tipo y diseño de la Investigación.....	69
4.1.1	Técnicas e instrumentos de obtención de datos	70
4.1.2	Método de reemplazo de lámparas de VSAP por equivalente LED	73
4.1.3	Facturación de AP	75
4.1.4	Técnicas de análisis e interpretación de información o datos	76
4.2	Unidades de análisis	76
4.2.1	Población y muestra	77
4.3	Matriz de consistencia	78
CAPÍTULO V: DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....		81
5.1	Descripción de la Empresa de distribución eléctrica bajo estudio.	81
5.2	Situación del alumbrado en la empresa de distribución bajo estudio.	82
5.3	Cálculo de equivalencia entre lámparas VSAP y LED	83
5.4	Proyección de la nueva demanda con lámparas LED.....	85
5.5	Impacto económico del reemplazo de lámparas LED en la facturación del alumbrado público y la alícuota.	85
5.5.1	Cálculo de los factores KALP	86
5.5.2	Cálculo del porcentaje máximo de facturación por el servicio de alumbrado público sectores típicos 2, 3, 4 y Especial.....	86
5.5.3	Facturación de alumbrado público y alícuota respectiva.....	88
5.6	Viabilidad económica de la innovación tecnológica de sustitución de lámparas VSAP por LED.....	89
5.6.1	Evaluación económica de la inversión entre luminaria VSAP y LED.....	90
5.6.2	Evaluación económica.....	91
5.6.3	Valor actual de costos (VAC).....	91
5.6.4	Valor actual neto (VAN).....	93
5.6.5	Periodo de retorno.....	93
5.6.6	Tasa interna de retorno (TIR)	94

5.6.7 Resultado de los indicadores de evaluación.....	94
5.6.8 Evaluación de la sustitución de luminarias de VSAP por LED en la reducción de emisiones GEI.....	95
5.6.9 Precio social de la reducción de emisiones de CO2	96
CAPÍTULO VI: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	97
6.1 Resultados de la investigación	97
6.2 Prueba de hipótesis.....	100
CONCLUSIONES.....	104
RECOMENDACIONES.....	106
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109
ANEXOS	113
Anexo N°1: Porcentaje Máximo de Facturación por el Servicio de AP (PALP) año 2020 con luminarias VSAP	114
Anexo N°2: Porcentaje Máximo de Facturación por el Servicio de AP (PALP) semestre 2020-II con luminarias LED.....	116
Anexo N°3: Porcentaje Máximo de Facturación por el Servicio de AP (PALP) semestre 2020-I con luminarias LED	120
Anexo N° 4: Parque de A.P. Empresa Concesionaria.....	124
Anexo N° 5: Precio medio de alumbrado público año 2020	131
Anexo N° 6: Facturación total empresa concesionaria año 2020	134
Anexo N° 7: Factor de proporción por cantidad de usuarios año 2020	136
Anexo N° 8: Información técnica de luminarias.....	138

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Potencia instalada de lámparas de empresas concesionarias (kw)	3
Tabla 2.	Demanda y facturación de energía eléctrica por sectores de consumo – año 2020	
Tabla 3.	Facturación por clientes regulados y alumbrado público – año 2020	4
Tabla 4.	Tipos de alumbrado según la clasificación vial	17
Tabla 5.	Niveles de luminancia, iluminancia e índice de control de deslumbramiento....	18
Tabla 6.	Uniformidad de luminancia	18
Tabla 7.	Uniformidad media de iluminancia.....	19
Tabla 8.	Ficha de homologación N° 1.....	21
Tabla 9.	Ficha de homologación N° 2.....	21
Tabla 10.	Ficha de homologación N° 3.....	22
Tabla 11.	Ficha de homologación N° 4.....	22
Tabla 12.	Índice ponderado puntos de iluminación/usuario	23
Tabla 13.	Factores kalp.....	24
Tabla 14.	Factores KALP RD N° 292-2017-MEM/DGE y RM N° 074-2009-MEM/DM.....	25
Tabla 15.	Comparación de leds de 2 mm ² y 4mm ² alimentados a 500 ma	42
Tabla 16.	Relación s/p aproximados para diferentes fuentes de luz.....	53
Tabla 17.	Información de parque de alumbrado público a diciembre 2020	71
Tabla 18.	Resultados de cálculo de facturación de alumbrado público año 2020.....	72
Tabla 19.	Tipo y potencia de lámpara de la empresa concesionaria	72
Tabla 20.	Relación s/p aproxima para diferentes fuentes de luz.....	74
Tabla 21.	Equivalencias calculadas de luminarias de vsap y led.....	75
Tabla 22.	Consumo de energía y facturación de la empresa concesionaria	77
Tabla 23.	Consumo de alumbrado público año 2020	81
Tabla 24.	Tipos de luminarias instaladas.....	82
Tabla 25.	Potencia instalada de lámparas (kw)	82
Tabla 26.	Luminarias de vapor de sodio de alta presión.....	83

Tabla 27.	Potencia instalada de lámparas (kw)	83
Tabla 28.	Características de luminarias de vapor de sodio de alta presión y led	84
Tabla 29.	Equivalencia de luminarias de vsap y luminarias led	85
Tabla 30.	Potencia equivalente de lámparas led	85
Tabla 31.	Factores kalp para tecnología de lámparas led.....	86
Tabla 32.	Monto total máximo del semestre móvil enero – junio 2020.....	87
Tabla 33.	Monto facturado total móvil enero – junio 2020.....	87
Tabla 34.	Porcentaje máximo por facturación de alumbrado público (palp)	88
Tabla 35.	Porcentaje máximo por facturación de alumbrado público (palp)	88
Tabla 36.	Comparación de factores de facturación de alumbrado público con tecnología vsap y led	89
Tabla 37.	Equivalencia de luminarias de vsap y luminarias led	89
Tabla 38.	Costo de luminarias de vsap y led	90
Tabla 39.	Costo de inversión en luminarias de vsap.....	90
Tabla 40.	Costo de inversión en luminarias led	91
Tabla 41.	Evaluación del valor actual de costos (vac) luminarias vsap.....	92
Tabla 42.	Evaluación del valor actual de costos (vac) luminarias led.....	92
Tabla 43.	Valor actual de costos (vac) de vsap y led.....	93
Tabla 44.	Factores de evaluación del van	93
Tabla 45.	Evaluación del periodo de retorno	94
Tabla 46.	Resultados de los indicadores económicos	94
Tabla 47.	Cálculo de emisiones de co ₂	95
Tabla 48.	Valorización de reducciones de emisiones de co ₂	96
Tabla 49.	Equivalencias entre lámparas de vsap y led	97
Tabla 50.	Factores kalp por sector típico.....	98
Tabla 51.	Valor actual de costos entre luminarias vsap y led.....	99
Tabla 52.	Comparación facturación alumbrado público año 2020	102
Tabla 53.	Parámetros de prueba de hipótesis mediante excel:.....	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Distribución espectral de la luz	27
Figura 2.	Temperaturas calor en la escala kelvin.....	31
Figura 3.	Circuito de lámpara de vapor de sodio y lámpara de vapor de sodio	33
Figura 4.	Diodo luminoso	36
Figura 5.	Leds de alta emisión	38
Figura 6.	Leds de alta potencia.....	39
Figura 7.	Esquema de las partes de un diodo de alta potencia tipo single die	40
Figura 8.	Leds de 2 mm ² y 4 mm ²	42
Figura 9.	Driver.....	46
Figura 10.	Límites de las condiciones visuales en función de la luminancia	51
Figura 11.	Respuesta de la distribución espectral de potencia (dep) humana a la luz.	52
Figura 12.	Resultados de valor crítico t y estadístico t.....	102

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

Conforme a disposiciones establecidas, en nuestro medio, las concesionarias de distribución de energía eléctrica se encargan de brindar el servicio de alumbrado público, en lo que respecta al alumbrado general de avenidas, calles y plazas. El costo del alumbrado público es asumido por los usuarios finales del servicio de energía eléctrica.

Por otro lado, el alumbrado público se ha convertido en un componente vital en la infraestructura urbana y rural, genera entornos seguros para los conductores de vehículos y peatones.

En la actualidad, es común observar instalaciones de alumbrado público obsoletas y, eventualmente, ineficientes que conducen a un consumo mayor de energía y costos elevados de mantenimiento, que finalmente se reflejan en un mayor costo a pagar por el servicio de alumbrado público.

Asimismo, los parques de alumbrado público de las empresas de distribución eléctrica están constituidos mayormente por lámparas de vapor de sodio de alta presión, siendo potenciales de reemplazo por lámparas más eficientes y de mayor vida útil como las de la tecnología LED, aspecto que contribuiría a un menor pago del servicio de alumbrado público.

En ese sentido, el alumbrado público constituye un desafío para la innovación tecnológica y su sostenimiento, aspectos que beneficiarían a los usuarios finales y a las empresas concesionarias proveedoras del servicio con un menor pago por el consumo de dicho servicio.

El mayor consumo de energía eléctrica (kW.h) está vinculado a la mayor emisión de gases de efecto invernadero hecho que se incrementará con el crecimiento de las ciudades en un futuro no muy lejano y la disminución de estas emisiones es una preocupación actual a nivel global.

Un aspecto que disminuye los efectos de los gases de efecto invernadero es la eficiencia energética y los proyectos de innovación tecnológica como las de sustitución de lámparas convencionales por LED forman parte de este.

Por tanto, con el servicio de alumbrado público es imperativo crear entornos seguros para los habitantes actuales y futuros, al mismo tiempo energéticamente eficientes, de bajo impacto ambiental, implementación rentable y que se reflejen en un menor pago de los usuarios finales por este servicio.

1.2 Descripción del problema de investigación

La facturación del servicio de alumbrado público bajo el contexto de la normativa peruana, Resolución Ministerial N° 074-2009 - MEM/DM que en sus artículos 1 y 2 establecen el procedimiento para la facturación de dicho servicio para el sector típico 1 y los otros sectores típicos de distribución, respectivamente y con lámparas más eficientes como la tecnología LED aún no fue materia de estudio, tampoco se consideró su impacto o se desconoce este respecto a la facturación de dicho servicio con la tecnología actual, mayormente, constituida por lámparas convencionales de vapor de sodio de alta presión.

Uno de los factores del crecimiento económico se refleja en una mayor demanda de energía eléctrica del sector comercial e industrial que contribuyen a una mayor facturación del alumbrado público y, según la normativa peruana, el pago del servicio de alumbrado público no debe superar el 5% del monto de la facturación total de la empresa de servicio público de electricidad. Asimismo, está establecido que la facturación del alumbrado público se distribuya entre los usuarios según factores de

proporción, que implica un pago proporcional de modo que pague más por este servicio quien consume más; sin embargo, la mayor facturación referida repercute en el mayor pago de este servicio por parte de los usuarios.

El otro factor que contribuye a una mayor facturación del servicio de alumbrado público es la tecnología con la cual se brinda que a nivel nacional está constituido preponderantemente por lámparas de vapor de sodio de alta presión (VSAP), como se aprecia en la Tabla 1.

Tabla 1.

Potencia instalada de lámparas de empresas concesionarias (kW)

EMPRESA ELECTRICA	POTENCIA DE LAMPARAS DE VSAP						TOTAL kW Instalada
	50	70	150	250	400	TOTAL kW	
Enel	11.85	7520.00	40175.98	16773.66	5315.60	69797.09	70418.84
Luz de Sur	0.11	2213.52	18510.80	35629.86	15660.02	72014.32	72137.02
Electro Dunas	222.45	6689.35	482.90	27.41		7422.11	7545.25
Hidrandina	3169.20	14622.80	2581.40	834.12	57.12	21264.64	21497.85
Electrocentro	2955.29	12967.35	1501.10	62.67	15.84	17502.25	17883.07
SEAL	318.42	10729.55	2272.58			13320.55	13845.06
Enosa	745.36	7242.27	907.57	122.16	2.64	9019.99	11075.05
Electro Sur Este	3869.53	4249.91	999.43	555.80	8.36	9683.03	11249.96
Electro Norte	365.10	5008.00	849.70	90.97		6313.76	6422.17
Electro Sur	283.74	3974.55	63.00	5.64		4326.93	5901.25
Electro Oriente	2314.40	3848.23	941.33	1.10		7105.05	7830.03
Electro Ucayali	52.08	1718.15	174.60			1944.83	2111.23
Electro Puno	699.48	5695.92	700.40	223.72	1.74	7321.26	7640.58
Electro Tocache	57.42	395.19				452.61	468.80
Coelvisac		83.39		15.62		99.02	99.02
Emsemsa		146.07	51.98	36.03	1.76	235.83	242.87
EMU	1.25	275.33				276.58	283.18
Sersa		209.72	3.00	6.00		218.72	223.53
Pangoa		30.21	2.09			32.30	32.30
Egepsa		41.97				41.97	41.97
Edelsa		33.70				33.70	33.70
Total						248426.52	256982.71

Nota. Adaptado de Osinergmin, 2020, Formato ALP-P1 año 2020.

Al segundo semestre del año 2020, según la información del parque de alumbrado público de las empresas concesionarias a nivel nacional, las instalaciones de alumbrado público están conformadas mayormente por lámparas de vapor de sodio de VSAP con potencia instalada de 248 MW (96.60%), de una potencia total de 257

MW, constituyendo factor de mayor facturación respecto a tecnologías de lámparas más eficientes.

Asimismo, en el año 2020 el consumo de energía (1 139 GW.h) por alumbrado público representó en 2.62% del consumo del mercado eléctrico nacional, como se aprecia en la Tabla 2 (GERENCIA DE REGULACIÓN DE TARIFAS [GRT], 2021, p. 15).

Tabla 2.

Demanda y facturación de energía eléctrica por sectores de consumo – Año 2020

Uso	Clientes (miles)	Energía (GWh)	Facturación (Millones S/.)	(%) Facturación	(%) Energía
Alumbrado Publico	19	1 139	673	4.15%	2.62%
Comercial	518	4 248	2 190	13.50%	9.76%
Industrial	34	28 053	7 457	45.93%	64.46%
Residencial	7 325	10 080	5 917	36.44%	23.16%
Total general	7 896	43 519	16 237	100%	100%

Nota. Osinergmin, 2021, Procesamiento y análisis de la información comercial – años 2020 y 2021.

En el mismo periodo, según (GRT, 2021, p. 62), la facturación promedio del servicio de alumbrado público fue equivalente al 4.15% de la facturación total (clientes regulados y libres abastecidos por concesionarias y generadores). Sin embargo, conforme la Tabla 3 la facturación promedio del servicio alumbrado público de las empresas concesionaras respecto a sus clientes finales regulados, fue de 6.08%, superior a lo establecido en el Reglamento de la Ley de Concesiones Eléctricas (Artículo 184)

Tabla 3.

Facturación por clientes regulados y alumbrado público – Año 2020

Uso	Facturación Millones S/.	(%)
Alumbrado Público	649.00	6.08%
Regulados	10 020.00	93.92%
Total general	10 669.00	100%

Nota. Osinergmin - GRT, 2021, Procesamiento y análisis de la información comercial – años 2020 y 2021.

Por lo referido anteriormente, respecto a los clientes regulados, el porcentaje de facturación promedio del servicio de alumbrado es superior al 5% de la facturación total de las empresas concesionarias del servicio público de electricidad.

Asimismo, la potencia total de lámparas está constituido en un porcentaje superior al 90% por lámpara de VSPA; a nivel nacional, dicho indicador se replica en cada una de las empresas concesionarias del servicio público de electricidad.

Igualmente, la situación de la facturación del alumbrado público que supere el 5% de la facturación de la concesionaria es un aspecto que se repite en la mayoría de las empresas concesionarias del servicio público de electricidad.

Por otro lado, es necesario señalar que las tecnologías convencionales de lámparas de vapor de sodio de alta presión respecto a las tecnologías actuales de mayor eficiencia incrementan el efecto invernadero, al consumir mayor energía expresada en KWh (0.4521 kg de CO₂ eq/kWh), siendo este un aspecto negativo para el medio ambiente.

El parque de alumbrado público constituido mayormente por lámparas de VSAP y la facturación del respectivo servicio que excede el 5% de la máxima permitida son escenarios que se presentan en cada una de las empresas concesionarias, por esta razón es necesario disminuir el porcentaje del costo de facturación del servicio de alumbrado público que libere la presión del costo sobre los usuarios finales con tecnologías de alumbrado público más eficientes y, a la vez, amigables con el medio ambiente y mejoren las condiciones del servicio en materia de seguridad vial y ciudadana.

En el caso específico de la empresa concesionaria de distribución de energía eléctrica motivo de estudio, según (GRT, 2021, p. 62) al año 2020 el consumo del servicio de alumbrado público fue de 45,085 MWh y la facturación respectiva

correspondió al 7.31 % de la facturación total de la empresa. En el mismo periodo, según la información de parque de alumbrado público de la empresa concesionaria (Formato ALP-P1 al año 2020), la cantidad de lámparas de alumbrado fue de 151,382 unidades, de las cuales 126,958 unidades que constituyen el 84% corresponden a lámparas de VSAP; la potencia instalada del parque de alumbrado público es de 11.25 MW correspondiendo a lámparas de VSAP, 9.68 MW equivalente al 86%.

La problemática señalada en la presente investigación permite formular las siguientes preguntas:

1.2.1 Problema general

- ✓ ¿En qué medida las luminarias LED respecto a los de vapor de sodio de alta presión influye en los costos de facturación del servicio de alumbrado público en una empresa de distribución de energía eléctrica del sur del Perú?

1.2.2 Problemas específicos

- ✓ ¿En qué medida la innovación tecnológica con luminarias LED respecto a las luminarias convencionales de VSAP influye en la facturación y en la alícuota del servicio de alumbrado público en una empresa de distribución de energía eléctrica del sur del Perú?
- ✓ ¿En qué medida es viable económicamente la innovación tecnológica del servicio de alumbrado público con luminarias LED en comparación con luminarias convencionales de VSAP en una empresa de distribución de energía eléctrica del sur del Perú?
- ✓ ¿Cómo influye la innovación tecnológica del servicio de alumbrado público con luminarias LED en la protección del medio ambiente en comparación con luminarias convencionales de VSAP en una empresa de distribución de energía eléctrica del sur del Perú?

1.3 Objetivos del estudio

1.3.1 Objetivo general

- ✓ Analizar la reducción de costos del servicio de alumbrado público en una empresa de distribución de energía eléctrica del sur del Perú con luminarias LED respecto a los de vapor de sodio de alta presión – VSAP.

1.3.2 Objetivos específicos

- ✓ Analizar la influencia de la innovación tecnológica en una empresa de distribución de energía eléctrica del sur del Perú con luminarias LED respecto a las luminarias convencionales de VSAP en la facturación y en la alícuota del servicio de alumbrado público.
- ✓ Determinar la viabilidad económica de la innovación tecnológica del servicio de alumbrado público en una empresa de distribución de energía eléctrica del sur del Perú con luminarias LED en comparación con luminarias convencionales de VSAP.
- ✓ Evaluar la influencia en la protección del medio ambiente de la innovación tecnológica del servicio de alumbrado público en una empresa de distribución de energía eléctrica del sur del Perú con luminarias LED respecto a luminarias convencional de VSAP.

1.4 Antecedentes investigativos

A continuación, se examinaron las investigaciones publicadas relacionadas con el tema estudiado y se consultaron fuentes de información. Al respecto, si bien no se enfocan o aborden específicamente en la influencia del alumbrado público con luminarias led en la reducción de costos de la facturación del servicio de alumbrado público respecto a luminarias convencionales de vapor de sodio de alta presión y bajo una normativa específica, existen estudios de análisis y comparación de consumo de

energía de alumbrado público entre lámparas de vapor de sodio de alta presión y led, los cuales se relacionan a la temática estudiada y se citan a continuación:

Antecedentes de investigación internacionales

J. Narváez (2020), "Análisis técnico, económico para determinar la viabilidad de reemplazar todas las luminarias de sodio utilizadas en el sistema de alumbrado público general en el área urbana de la ciudad de Cuenca por luminarias de tecnología LED", compara los parámetros técnicos de las luminarias de vapor de sodio y LED, determinando que los parámetros fotométricos muestran que las luminarias de vapor de sodio instaladas actualmente en la zona urbana de la ciudad de Cuenca, serían reemplazadas por luminarias LED de menor potencia, conservando o mejorando mínimamente los niveles de iluminación actuales.

Asimismo, concluye que la propuesta de cambio de las luminarias de vapor de sodio de 250 W y 150 W, a una potencia de 178 W y 94 W de luminarias LED, respectivamente y que conllevarían a ahorros anuales; sin embargo, no serían rentables por los costos iniciales de las luminarias; además, determina que se pueden reemplazar a las luminarias de vapor de sodio de 250 W y 150 W si los costos de la Luminarias LED de 178 W y 94 W disminuyeran en 10% y 30%, respectivamente.

I. Genover (2015), "Eficiencia energética en el servicio de alumbrado público del Ecuador", señala que constituye un aspecto de suma importancia el análisis de comparación de las equivalencias de potencia de fuentes de sodio vs las fuentes de LED, en la iluminación de las vías tipo M2 y determina que el cambio de las fuentes de luz de vapor de sodio por luminarias de tecnología LED, manteniendo el mismo nivel de iluminancia y luminancia en las vías tipo M2, se obtiene con potencias menores de alrededor del 33%, que para el caso de estudio, la luminaria LED que reemplaza a las de vapor de sodio de 250 W (consumo total 284 W), sería una luminaria de 190 W, incluido el consumo de elementos, específicamente el driver. Con el porcentaje

obtenido del ahorro promedio del 33%, calcula el reemplazo de las potencias equivalentes de vapor de sodio a luminarias LED conforme los siguiente (sodio/led): (100 W/86 W); (150 W/125 W); (250 W/190 W); (400 W/296 W).

Además, concluye que el avance tecnológico de las luminarias LED, permite obtener un ahorro del 30% de la potencia instalada, en comparación con las luminarias de vapor de sodio, manteniendo los mismos niveles de iluminancia y luminancia en las vías. Resultados que se determinaron en base a las mediciones eléctricas, fotométricas de luminancia, iluminancia; y, al análisis de la equivalencia de potencias de fuentes de Sodio vs LED (Genover, 2015).

Adicionalmente, señala que para las condiciones del periodo evaluado del país (costo energía, aranceles, inflación, etc.), financieramente, el uso de la tecnología LED sería rentable si el ahorro de la potencia instalada en relación con las luminarias de sodio cambie de un 30% a un ahorro del 40 %; o también al bajar los precios de compra de los equipos LED en un 30%, en relación al costo actual y que el análisis fue obtenido en base a la evaluación financiera del comparativo de la inversión entre el proyecto de luminarias de sodio vs el led; y, al resultado de sensibilidad financiera correspondiente a la variación de los costos y tasa de descuento, determinadas.

J. González (2018), "Estudio de implantación de tecnología Led en el alumbrado público exterior de La Robleda, puente San Miguel (Cantabria)" que se centra en análisis energético del alumbrado público exterior de La Robleda, Puente San Miguel ubicado en Reocín, municipio perteneciente a la comunidad autónoma de Cantabria, cuyo alumbrado exterior está conformado por lámparas de vapor de sodio de 100 W, 150 W, 250 W y lámparas de halogenuro de 1000 W de las siguientes cantidades 30, 60, 2 y 6, respectivamente. La zona es suministrada por tres puntos, estima el consumo respectivo en 64.914 kWh/año; que el costo de la facturación anual asociada es aproximadamente a 13.736,91 €/año y señala que las emisiones de CO₂,

considerando a las pérdidas técnicas que sufre todo proceso en el sector energético (146.056,5 kWh/año), es equivalente a 48.198,64 kg CO₂/año. Adicionalmente, el estudio se enfoca en los factores abióticos, como la luz (duración durante el día). Entre otros, concluye que la tecnología LED es la más empleada para este tipo de proyectos, que sus altos niveles luminotécnicos y la gran eficiencia energética garantizan esta tecnología y compensan su elevado coste actual; que la tecnología LED es muy recomendable en todo tipo de alumbrado exterior, al contar con una vida útil aproximada de 50.000 horas de funcionamiento que ninguna otra tecnología existente logra alcanzar a igualdad de prestaciones técnicas.

Además, en el estudio realizado determina que la aplicación de las mejoras propuestas presentan un potencial ahorro energético de, aproximadamente, 54,02% respecto al consumo actual de las instalaciones estudiadas, cifra que, ascendía hasta los 93.450 kWh/año en base al consumo teórico máximo de los equipos que integran el alumbrado exterior sujeto al estudio. Que dicho ahorro energético evitaría la emisión de 16.659,72 kg CO₂/año.

En cuanto a la viabilidad económica del estudio, establece que la propuesta planteada es viable, fundamentándose en el análisis de la correspondiente evaluación financiera mediante la inversión inicial, el ahorro generado, los costes asociados a la operación, la vida útil de las luminarias que ofrece el fabricante y la tasa de inflación correspondiente al propio estudio. La inversión se amortiza durante el sexto año, concretamente, el periodo de retorno de la inversión se produce en el año 6,61. Por otro lado, obtiene un indicador VAN de 19.826,81 € y un índice TIR del 9,32% tras finalizar la vida útil de los 12 años estimados.

Antecedentes de investigación nacionales

W. Mayta (2018), "Análisis y comparación del consumo de energía eléctrica por alumbrado público utilizando luminarias tipo LED y luminarias convencionales, en la empresa de distribución eléctrica Electro Puno S.A.A" efectúa el análisis y comparación del alumbrado público del alimentador 102 del sistema eléctrico de Puno con luminarias instaladas de vapor de sodio de 50 W, 47 unidades; 70 W, 614 unidades; 150 W, 276 unidades; y 250 W, 75 unidades, al efectuar el reemplazo con el alumbrado LED respectivo concluye que el consumo anual de energía de las luminarias convencionales de vapor de sodio y luminarias LED es de 527,264 kWh y 328.570 kWh, respectivamente, alcanzando un ahorro de 198,694 kWh, que este representa un 37.68% de ahorro de energía en un año en el alimentador 102 de la ciudad de Puno.

Además, considera el proyecto viable en un periodo de 10 años, tomando en cuenta los valores de los costos de los equipos, costos de mantenimiento y costos de energía, el costo de las luminarias convencionales asciende a S/. 4,242,951.79 y el de las luminarias LED a S/. 3,218,060.01, concluye que resulta un ahorro de S/. 1,024,891.78, equivalente a un 24%, en el periodo mencionado y, de acuerdo a los valores obtenidos, el VAN = 662,506 y TIR = 25%, determinado que el proyecto es viable y rentable.

G. Luque (2020), "Análisis del ahorro y beneficios producidos con el reemplazo a luminarias led en las principales calles de Moquegua 2018", entre otros, concluye que el costo por energía eléctrica utilizada por el sistema de luminarias de vapor de sodio de alta presión reflejó un costo superior en un 40 % a la tecnología de alumbrado público con sistema LED.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 Marco teórico.

2.1.1 Alumbrado público

El alumbrado público es un servicio que se ofrece a los residentes con vías de circulación peatonal, vial o de tráfico vehicular, parques públicos y otros espacios de libre circulación rodada o peatonal, con la finalidad de proporcionar la visibilidad necesaria para el desarrollo de diversas actividades, ofrecer una visión confortable durante la noche o en zonas oscuras, y garantizar la seguridad ciudadana. Incluye las líneas de distribución de alumbrado público de las vías de circulación de vehículos, independientemente de que hayan sido establecidas por el municipio o por cualquier otra organización, incluidas las empresas de distribución de servicios públicos encargadas del alumbrado público. Entre los numerosos componentes que integran el sistema de alumbrado público destacan: luminarias, brazos, lámparas, balastos, sistemas de control, postes, tableros y equipos de medición (Ministerio de Desarrollo Social - División de Evaluación Social de Inversiones [MDS-DESI], 2014, p.3)

La Ley de Concesiones Eléctricas establece que la prestación del servicio de alumbrado público es de responsabilidad de los concesionarios de distribución, en lo que se refiere al alumbrado general de avenidas, calles y plazas (MINEM, 1992, Artículo 94)

Además, según la “Norma Técnica Alumbrado de Vías Públicas en Zonas de Concesión de Distribución” RM N° 013-2003-EM/DM, los tipos de alumbrado se determinan de acuerdo al tipo de vía: vía expresa, arterial, colectora, local comercial, residencial y vías peatonales.

2.1.2 Beneficios del alumbrado público

Los sistemas de iluminación pública modernos tienen una serie de beneficios:

- Mejoran la seguridad vial.
- Proveen la mejora de la visibilidad nocturna, lo que reducirá las actividades delictivas y aumentará la sensación de seguridad ciudadana.
- Incrementa la productividad debido a una mayor actividad legítima después del anochecer y una jornada laboral más larga que permite a las personas viajar de manera segura en momentos posteriores.
- Disminuye (a veces drástica) el costo debido a la reducción del consumo de electricidad como resultado de la tecnología de eficiencia energética.
- Un método efectivo y destacado para que los gobiernos locales en caso de corresponder o las empresas concesionarias demuestren su compromiso con sus ciudadanos y clientes, respectivamente (Decologia.info, s.f.)

2.1.3 Evolución del alumbrado público

En 1802 el escocés William Murdoch inventó la lámpara con el mismo iluminó el exterior de la fundición SoHo. En 1816, Baltimore se convirtió en la primera ciudad estadounidense en instalar farolas de gas. París siguió en 1820. El gas se alimentaba a las lampara colocados en los postes a través de tuberías.

A finales de la década del 70 del siglo XIX con la invención de la primera bombilla eléctrica, básicamente en alumbrado público, la electricidad reemplazo del gas.

En 1879 se introdujo la lampara incandescente de filamento de carbono de Edinson, ello impulsó el desarrollo posterior del alumbrado público. El 29 de abril de 1879, Cleveland, Ohio, demostró con éxito la iluminación eléctrica con el uso de 12 lámparas colocadas por todas las plazas de la ciudad.

En la década de 1880, Indiana (Ayuntamiento Wabash) fue la primera ciudad de los Estados Unidos en introducir el alumbrado público eléctrico. Así comenzó el

alumbrado público, con la instalación de lámparas de arco. Tres años después, 4.000 de estas lámparas públicas eléctricas estaban en uso, reemplazando efectivamente a las lámparas de gas montadas en postes de servicios públicos. Pero la desventaja de las lámparas de arco era que emitían una luz fuerte y cegadora y no duraban mucho. Con el tiempo, por lo tanto, fueron reemplazadas por lámparas incandescentes más baratas, más brillantes y más duraderas (Kanglight, 2021).

En el año de 1884 se instaló la primera usina eléctrica en la Plata – Argentina, cuatro años después fue la primera ciudad en contar con el servicio de alumbrado público eléctrico en América del sur (ELDÍA, 2019)

El 15 de mayo de 1886, en el Perú, la empresa Peruvian Electric Construction and Supply Company inauguró el alumbrado público eléctrico en la ciudad de Lima, solo cuatro años después de su inauguración en Nueva York. La central de vapor que producía la corriente estaba situada en la primera cuadra del actual Paseo de la República, frente al Parque Neptuno. Una caldera de carbón suministraba 500 caballos al único motor. No se podía hablar de transmisión de alta tensión, ni mucho menos de una línea con estas cualidades, debido a la baja potencia y a la posición de la instalación de generación dentro del límite de la ciudad. Apenas una red de cables suspendidos en postes de madera llevaba la corriente hacia la Plaza de Armas, algunos jirones adyacentes y a muy pocas conexiones domiciliarias (Quispe, 2011)

Entre 1930 y 1940 las lámparas fluorescentes e incandescentes se hicieron populares. Fue entonces cuando los viajes en automóvil comenzaron a florecer. En 1930 se popularizaron las lámparas de sodio de baja presión, y este alumbrado público consistía en una cubierta exterior removible y una capa de vacío para aislamiento. Esto permitió que el sodio se mantuviera en forma de vapor a altas temperaturas. A principios del siglo XX, las calles con luces se llamaban caminos blancos. En 1965, las lámparas de sodio de alta presión (HID) trajeron color y

eficiencia superiores en comparación con sus contrapartes de baja presión. Para entonces, el alumbrado público ya estaba tomando forma (Kanglight, 2021).

En el presente siglo, la introducción del LED en la iluminación de las calles es considerado como un gran salto en el alumbrado público, en adelante el alumbrado mediante LED será común y la tecnología LED de ahorro de energía habrá florecido.

2.1.4 Normas relacionadas al alumbrado público y a la facturación del servicio de alumbrado público.

Ley de Concesiones Eléctricas, entre otros, establece que las concesionarias de distribución de energía eléctrica se encargan de brindar el servicio de alumbrado público, en lo que respecta al alumbrado general de avenidas, calles y plazas (Ministerio de Energía y Minas, 1992, Artículo 94).

Asimismo, el Reglamento de la Ley de Concesiones Eléctricas dispone que la facturación de la concesión por los servicios de alumbrado público no supere el 5% del importe total facturado y se reparta entre los usuarios en cantidades determinadas de acuerdo con los parámetros proporcionales establecidos en el citado artículo (Ministerio de Energía y Minas, 1993, Artículo 184)

A continuación, se señalan las normas técnicas del alumbrado público y de la facturación del servicio de alumbrado público.

2.1.4.1 Norma técnica DGE “Alumbrado de vías públicas en zonas de concesión de distribución”

La Norma Técnica DGE “Alumbrado de Vías Públicas en Zonas de concesión de distribución” establece las exigencias lumínicas mínimas que deben cumplir las instalaciones de alumbrado de vías públicas desde su etapa de diseño; los estándares de calidad mínimos exigidos dentro del marco del cumplimiento de la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos, así como fijar las obligaciones de los suministradores de alumbrado de vías públicas y las facultades de la autoridad para su

correcta operación y oportuna reparación y mantenimiento. La Norma es de aplicación obligatoria dentro de la concesión de las empresas distribuidoras de energía eléctrica (Ministerio de Energía y Minas, 2003).

La Norma Técnica DGE “Alumbrado de Vías Públicas en Zonas de concesión de distribución” es de aplicación obligatoria para la dotación del servicio de alumbrado de vías públicas para toda entidad que diseñe, opere o administre instalaciones de alumbrado eléctrico y provea el servicio en vías públicas sean de tránsito vehicular o peatonal, urbanas, urbano-rurales o rurales, áreas recreacionales y en zonas especiales (Ministerio de Energía y Minas, 2003).

El título segundo de la Norma Técnica DGE “Alumbrado de Vías Públicas en Zonas de concesión de distribución” establece el tipo de alumbrado que le corresponde a cada vía (Ministerio de Energía y Minas, 2003).

La Tabla 4 presenta los tipos de alumbrado, conforme clasificación vial.

Característica de la vía

Tabla 4.

Tipos de alumbrado según la clasificación vial

Tipo de vía	Características de la vía	Función	Características del tránsito y la vía
Expresa	I	<ul style="list-style-type: none"> - Une zonas de alta generación de tránsito con alta fluidez - Accesibilidad a las áreas urbanas adyacentes mediante infraestructura especial (rampas) 	<ul style="list-style-type: none"> - Flujo vehicular ininterrumpido. - Cruces a desnivel. - No se permite estacionamiento. - Alta velocidad de circulación, mayor a 60 km/h. - No se permite paraderos urbanos sobre la calzada principal. - No se permite vehículos de transporte urbano, salvo los casos que tengan vía especial.
Arterial	II	<ul style="list-style-type: none"> - Une zonas de alta generación de tránsito con media o alta fluidez - Acceso a las zonas adyacentes mediante vías auxiliares. 	<ul style="list-style-type: none"> - No se permite estacionamiento. - Alta y media velocidad de circulación, entre 60 y 30 km/h. - No se permiten paraderos urbanos sobre la calzada principal. - Volumen importante de vehículos de transporte público.
Colectora 1	II	<ul style="list-style-type: none"> - Permite acceso a vías locales 	<ul style="list-style-type: none"> - Vías que están ubicadas y/o atraviesan varios distritos. Se considera en esta categoría las vías principales de un distrito o zona céntrica. - Generalmente tienen calzadas principales y auxiliares. - Circulan vehículos de transporte público.
Colectora 2	III	<ul style="list-style-type: none"> - Permite acceso a vías locales 	<ul style="list-style-type: none"> - Vías que están ubicadas entre 1 o 2 distritos. - Tienen 1 o 2 calzadas principales, pero no tienen calzadas auxiliares. - Circulan vehículos de transporte público.
Local Comercial	III	<ul style="list-style-type: none"> - Permite el acceso al comercio local 	<ul style="list-style-type: none"> - Los vehículos circulan a una velocidad máxima de 30 km/h. - Se permite estacionamiento. - No se permite vehículos de transporte público. - Flujo peatonal importante
Local Residencial 1	IV	<ul style="list-style-type: none"> - Permite acceso a las viviendas 	<ul style="list-style-type: none"> - Vías con calzadas asfaltadas, veredas continuas y con flujo motorizado reducido. - Vías con calzadas asfaltadas, pero sin veredas continuas y con flujo motorizado muy reducido o nulo
Local Residencial 2	V	<ul style="list-style-type: none"> - Permite acceso a las viviendas 	<ul style="list-style-type: none"> - Vías con calzadas sin asfaltar. - Vías con calzadas asfaltadas, veredas continuas y con flujo motorizado muy reducido o nulo
Vías peatonales	V	<ul style="list-style-type: none"> - Permite el acceso a las viviendas y propiedades mediante el tráfico peatona 	<ul style="list-style-type: none"> - Tráfico exclusivamente peatonal

Nota. Ministerio de Energía y Minas [MINEM], 2003, Tabla I de la RM N° 013-2003-EM/DM.

Asimismo, en la referida norma está establecido los niveles de luminancia, iluminancia e índice de control de deslumbramiento adecuados, como se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5.

Niveles de luminancia, iluminancia e índice de control de deslumbramiento

Tipo de Vía y alumbrado	Luminancia media revestimiento seco	Iluminancia media Lux		Índice de control de deslumbramiento (G)
	(cd/m ²)	Calzada clara	Calzada oscura	
I – Expresa	1,5 – 2,0	15 – 20	30 – 40	≥6
II - Arterial Colectora	1,0 – 2,0	10 – 20	20 – 40	5-6
III - Colectora II Local Comercial	0,5 – 1,0	5 – 10	10 – 20	5-6
IV - Local Residencial 1 y 2		2 – 5	5 – 10	4-5
V - Vías Peatonales		1 – 3	2 – 6	4-5

Nota. MINEM, 2003, Tabla II de la RM N° 013-2003-EM/DM.

Uniformidad de luminancia e iluminancia.

El numeral 3.1.1 de la Norma Técnica DGE “Alumbrado de Vías Públicas en Zonas de concesión de distribución” dispone que la repartición de luminancia e iluminancia debe ser lo suficientemente uniforme para que todo obstáculo destaque por su silueta, cualquiera que sea la posición del observador (Ministerio de Energía y Minas, 2003).

En ambos casos, se respetarán los valores que a continuación se señalan en las siguientes (Ministerio de Energía y Minas, 2003). Tablas 6 y 7.

Tabla 6.

Uniformidad de luminancia

Tipo de alumbrado público	Uniformidad longitudinal	Uniformidad media
I	≥0.70	≥0.40
II	≥0.65	≥0.40

Nota. MINEM, Tabla III de RM N° 013-2003-EM/DM.

Tabla 7.

Uniformidad media de iluminancia

Tipo de alumbrado público	Uniformidad media
III	0.25-0.35
IV, V	≥ 0.15

Nota. MINEM, Tabla IV de RM N° 013-2003-EM/DM.

Además, el numeral 5.1 el título quinto de la Norma Técnica DGE “Alumbrado de Vías Públicas en Zonas de concesión de distribución” señala que el alumbrado público, durante el periodo comprendido entre las 00:00 horas y las 24:00 horas, debe entrar en servicio cuando el nivel promedio de iluminancia media de luz natural sea, como mínimo, 10 lux en la superficie de la vía, y salir del servicio cuando dicho nivel sea, en promedio, como mínimo 30 lux (Ministerio de Energía y Minas, 2003).

El numeral 5.2 de la Norma Técnica DGE “Alumbrado de Vías Públicas en Zonas de concesión de distribución” establece que los suministradores están obligados a proveer este servicio en vías públicas y zonas especiales respetando los niveles mínimos de alumbrado establecidos en la Norma (Ministerio de Energía y Minas, 2003).

En relación a la tecnología del alumbrado público la Norma no limita o especifica determinada tecnología, estableciéndose principalmente parámetros de calidad como los señalados.

2.1.4.2 Ley de Promoción del Uso Eficiente de la Energía

La Ley N° 27345 de Promoción del Uso Eficiente de la Energía declara de interés nacional la promoción del Uso Eficiente de la Energía (UEE) para asegurar el suministro de energía, proteger al consumidor, fomentar la competitividad de la economía nacional y reducir el impacto ambiental negativo del uso y consumo de los energéticos (Ministerio de Energía y Minas, 2000).

Además, la Ley N° 27345 de Promoción del Uso Eficiente de la Energía establece que el Ministerio de Energía y Minas es la autoridad competente del Estado para la promoción del uso eficiente de la energía, con atribuciones, entre otros, para la elaboración y ejecución de planes y programas referenciales de eficiencia energética; en coordinación con los demás sectores y las entidades públicas y privadas el desarrollo de políticas de uso eficiente de la energía (Ministerio de Energía y Minas, 2000).

El respectivo Reglamento de referida la Ley DS N° 053-2007-EM en los Programas Sectoriales de Uso Eficiente de la Energía en el sector público, entre otros, dispone que las entidades del Sector Público utilizarán, para fines de iluminación y otros usos, equipos eficientes que cumplan con las características técnicas determinadas por el Ministerio (Ministerio de Energía y Minas, 2000).

2.1.4.3 Fichas de homologación de luminarias LED de alumbrado público

Con la Resolución Ministerial RM-415- 2018-DM aprueban cuatro (04) Fichas de Homologación para Luminarias LED de alumbrado público, cuyas características técnicas se encuentran descritas en los Anexos que forman parte integrante de dicha Resolución Ministerial (El Peruano, 2018).

Esta Resolución fue modificada mediante la Resolución Ministerial RM-015-2020-DM Las características generales de las luminarias contenidas se presentan a continuación en la Tabla1, Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 4:

Tabla 8.

Ficha de homologación N° 1

Características generales del bien (Ficha N° 1)	
Denominación del bien	Luminaria LED de alumbrado público, para vía tipo de alumbrado III de 50 a 55 W.
Denominación Técnica	Luminaria para alumbrado público con tecnología LED, para vía tipo de alumbrado III de 50 a 55 W con módulos LED del tipo SMD
Unidad de medida	Unidad
Descripción general	Luminaria para alumbrado público diseñada para ser parte de un sistema conformado de un poste y pastoral adosada a una pared, que incorpora una o más fuentes de iluminación LED. Con tecnología con módulos LED del tipo SMD "Surface Mounted Device" LED. Utilizado en el alumbrado público de diferentes tipos de espacios viales.

Nota. MINEM, 2020, Ficha de homologación N° 1, https://minem.gob.pe/_legislacion.php?idSector=10&idLegislacion=13594

Tabla 9.

Ficha de homologación N° 2

Características generales del bien (Ficha N° 2)	
Denominación del bien	Luminaria LED de alumbrado público, para vía tipo de alumbrado II de 90 a 100 W.
Denominación Técnica	Luminaria para alumbrado público con tecnología LED, para vía tipo de alumbrado II de 90 a 100 W con módulos LED del tipo SMD
Unidad de medida	Unidad
Descripción general	Luminaria para alumbrado público diseñada para ser parte de un sistema conformado de un poste y pastoral adosada a una pared, que incorpora una o más fuentes de iluminación LED. Con tecnología con módulos LED del tipo SMD "Surface Mounted Device" LED. Utilizado en el alumbrado público de diferentes tipos de espacios viales.

Nota. MINEM, 2020, Ficha de homologación N° 2, https://minem.gob.pe/_legislacion.php?idSector=10&idLegislacion=13594

Tabla 10.

Ficha de homologación N° 3

Características generales del bien (Ficha N° 3)	
Denominación del bien	Luminaria LED de alumbrado público, para vía tipo de alumbrado I de 140 a 150 W.
Denominación Técnica	Luminaria para alumbrado público con tecnología LED, para vía tipo de alumbrado I de 140 a 150 W con módulos LED del tipo SMD
Unidad de medida	Unidad
Descripción general	Luminaria para alumbrado público diseñada para ser parte de un sistema conformado de un poste y pastoral adosada a una pared, que incorpora una o más fuentes de iluminación LED. Con tecnología con módulos LED del tipo SMD "Surface Mounted Device" LED. Utilizado en el alumbrado público de diferentes tipos de espacios viales.

Nota. MINEM, 2020, Ficha de homologación N° 3, <https://minem.gob.pe/legislacion.php?idSector=10&idLegislacion=13594>

Tabla 11.

Ficha de homologación N° 4

Características generales del bien (Ficha N° 4)	
Denominación del bien	Luminaria LED de alumbrado público, para vía tipo de alumbrado I de 190 a 200 W.
Denominación Técnica	Luminaria para alumbrado público con tecnología LED, para vía tipo de alumbrado I de 190 a 200 W con módulos LED del tipo SMD
Unidad de medida	Unidad
Descripción general	Luminaria para alumbrado público diseñada para ser parte de un sistema conformado de un poste y pastoral adosada a una pared, que incorpora una o más fuentes de iluminación LED. Con tecnología con módulos LED del tipo SMD "Surface Mounted Device" LED. Utilizado en el alumbrado público de diferentes tipos de espacios viales.

Nota. MINEM, 2020, Ficha de homologación N° 4, <https://minem.gob.pe/legislacion.php?idSector=10&idLegislacion=13594>

2.1.4.4 Cálculo del porcentaje máximo de facturación por el servicio de alumbrado público.

Los artículos 1 y 2 de la Resolución Ministerial N° 074-2009-MEM/DM. establecen relaciones para determinar la facturación del servicio de alumbrado público en los sectores típicos existentes en los sistemas eléctricos, conforme lo siguiente:

Artículo 1º.- La facturación por el servicio de alumbrado público del Sector de Distribución Típico 1 corresponderá al consumo mensual leído por la prestación de dicho servicio, debiendo ser el monto total facturado del año móvil por el servicio de alumbrado público menor o igual al monto resultante de aplicar el porcentaje máximo de facturación por el servicio de alumbrado público al monto total facturado del año móvil del mismo período, de acuerdo a la siguiente fórmula (El Peruano, 2009):

$$\sum_{n-11}^n FALP \leq PMFALP \times \sum_{n-11}^n FTOT \quad (1)$$

Donde:

n = Mes de facturación (enero, febrero, marzo, etc.)

∑FTOT = Monto total facturado del año móvil, calculado como la suma de los montos totales facturados de los últimos 12 meses, incluido el mes de facturación, considerando la facturación de los clientes libres atendidos por las Generadoras dentro de las áreas de concesión de las Distribuidoras (El Peruano, 2009).

∑FALP = Monto total facturado del año móvil por el servicio de alumbrado público, calculado como la suma de los montos totales facturados por el servicio de alumbrado público de los últimos 12 meses, incluido el mes de facturación (El Peruano, 2009).

PALP = Porcentaje máximo de facturación por el servicio de alumbrado público igual a 5%, condicionado a los índices ponderados puntos de Iluminación/Usuario del cuadro siguiente

Tabla 12.

Índice ponderado puntos de iluminación/usuario

Empresa	Índice ponderado puntos de iluminación/Usuario
Edelnor	0.30
Luz del Sur	0.33

Nota. Adaptado del MINEM, RM N° 074-2009-MEM/DM

Artículo 2º.- La facturación

La facturación por el servicio de alumbrado público de los Sectores de Distribución Típicos 2, 3, 4, 5, 6 y Especial corresponderá al consumo leído mensualmente, no debiendo superar el porcentaje máximo de facturación por este servicio, resultante del siguiente cálculo, que se efectuará mensualmente (El Peruano, 2009):

$$PALP_n = \frac{\sum_{n-6}^{n-1} FALP}{\sum_{n-6}^{n-1} FTOT} \quad (2)$$

Donde:

n = Mes de facturación (enero, febrero, marzo, etc.)

PALP = Porcentaje máximo de facturación por el servicio de AP.

$\Sigma FTOT$ = Monto total facturado del semestre móvil, calculado como la suma de los montos totales facturados de los últimos 6 meses anteriores al mes de facturación, incluyendo la facturación de los clientes libres atendidos por las Generadoras dentro de las áreas de concesión de las Distribuidoras (El Peruano, 2009).

$\Sigma FALP$ = Monto total máximo del semestre móvil por el servicio de alumbrado público, calculado como la suma del producto del número de suministros (N), multiplicado por el correspondiente factor KALP y el respectivo precio medio por el servicio de alumbrado público (PMAP), de cada uno de los meses del semestre (El Peruano, 2009).

$FALP = N \times KALP \times PMAP$;

Factores KALP

Tabla 13.

Factores KALP

Sector	KALP kWh / usuario-mes
2	11.0
3	11.0
4	7.4
5	6.3
Especial	4.7

Nota. Adaptado del MINEM, RM N° 074-2009-MEM/DM

Según la Resolución Directoral N° 0292-2017-MEM/DGE se establece los sectores típicos 1, 2, 3,4 y SER, siendo los factores equivalentes KALP:

Tabla 14.

Factores Kalp RD N° 292-2017-MEM/DGE y RM N° 074-2009-MEM/DM

Sector Típico (ST)Fijación			
2013-2017/ Factor Kalp		2018-2022 y 2019-2023	
ST 2 y 3	11	ST 2	Resolución N° 042-2018-OS/CD
ST 4	7.4	ST 3	
ST 5 y 6	6.3	ST 4	
SER	6.3	SER	

El cargo por energía especificado en la opción tarifaria BT5C del pliego tarifario correspondiente será el coste medio del servicio de alumbrado público (PMAP). Deberá establecerse un PMAP proporcional a los días de vigencia de cada pliego tarifario cuando se presenten múltiples pliegos tarifarios en un mes determinado.

2.1.4.5 Factor KALP.

Factor KALP, es el factor indicador de la Energía en kW.h/usuario-mes que se considera para el alumbrado público

2.1.5 Conceptos básicos de alumbrado público

a) Altura de montaje (en una vía)

Distancia vertical entre el centro óptico de la luminaria y la superficie de la vía que debe iluminarse. Las alturas estándar de los postes para calles estrechas residenciales y comerciales están entre 8 y 10 metros, más altos, de 10 a 12 metros, para calles anchas en zonas comerciales e industriales (Olmedo, S. 2019).

b) Espaciado

El espacio entre dos postes de luz debe ser aproximadamente de 2.5 a 3 veces la altura del poste. La densidad, la velocidad de viaje y el tipo de fuente de luz a lo largo de una vía determinarán la altura y el espaciado (Olmedo, S. 2019).

c) Cono de Luz

El diámetro del cono luminoso es aproximadamente igual a la altura de la luminaria sobre el suelo. La distancia máxima recomendada entre dos fuentes luminosas para evitar regiones oscuras depende de la altura. Una sola fila de puntos de luz puede ser suficiente para una calle agosta, mientras que otras requerirán más de una fila (Olmedo, S. 2019).

d) Contaminación lumínica

Enfoca la iluminación desde los puntos de luz y los accesorios directamente a la calle para minimizar el brillo y la contaminación lumínica que podrían afectar negativamente a la vida silvestre y al bienestar humano (Olmedo, S. 2019).

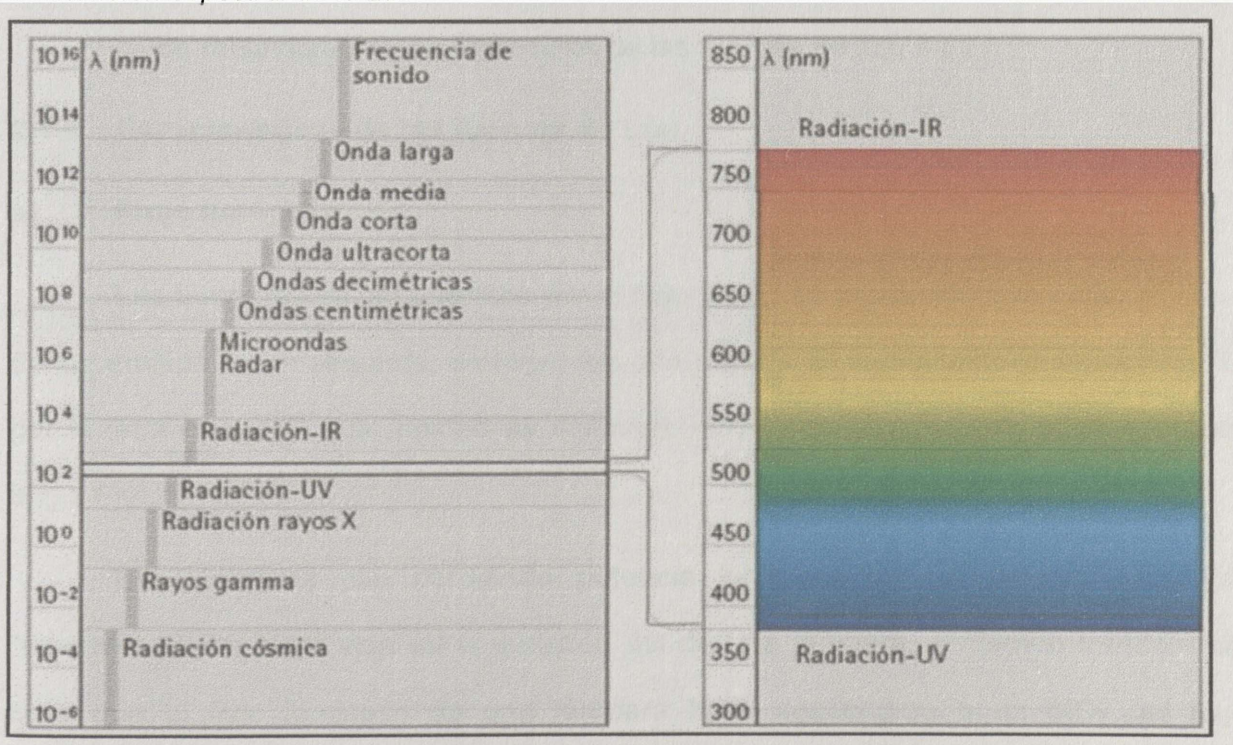
Los artefactos blindados y de corte con bombillas de bajo costo son más rentables, al utilizar menos energía y dirigir la luz hacia el suelo y reducir la contaminación lumínica. (Olmedo, S. 2019).

e) La emisión de luz

El espectro de luz visible, que incluye la radiación electromagnética con longitudes de onda percibidas entre 380 y 780 nm aproximadamente, está dentro del rango al que es sensible el ojo humano. Las longitudes de onda más cortas del espectro visible corresponden a la luz violeta y la más larga a la luz roja, y entre estos extremos se encuentran todos los colores del arco iris (Olmedo, S. 2019). La distribución espectral de la luz se presenta en la Figura 1.

Figura 1.

Distribución espectral de la Luz



Nota. Análisis de las instalaciones de alumbrado, (s.f.), <https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/IEI/IEI03/es IEA IEI03 Contenidos/website 1 la emisin de luz.html>

f) Las fuentes de luz

Son naturales o artificiales:

- El sol es la fuente más importante de luz natural.
- Las lámparas son el nombre típico de las fuentes de luz artificial.

En la actualidad existen muchos tipos diferentes de lámparas para crear iluminación artificial, pero todas ellas dependen exclusivamente de dos fenómenos físicos significativos: el calor y la luminosidad. Así, se pueden distinguir las siguientes:

- Lámparas basadas en la elevación de la temperatura de un cuerpo, es decir, elementos que emiten radiaciones caloríficas (Características de las fuentes de luz, s.f.).

- Lámparas basadas en otras propiedades cuya característica común es que apenas existe elevación de temperatura; o sea, en elementos que permiten radiaciones luminiscentes. Algunas lámparas emiten ambas clases de radiaciones (Características de las fuentes de luz, s.f.).

2.1.6 Características de las fuentes de Luz

a) Flujo luminoso

Las lámparas se caracterizan por el flujo luminoso producido que es la cantidad de luz emitida en un segundo, en todas las direcciones. El flujo luminoso se representa por la letra griega Φ y su unidad es el lumen – lm (Características de las fuentes de luz, s.f.).

Las lámparas van perdiendo potencia luminosa con el tiempo; es decir, "envejecen". Se llama vida útil o duración útil de una lámpara, al tiempo transcurrido para que el flujo luminoso de una lámpara haya descendido a un 80% del flujo luminoso inicial (Características de las fuentes de luz, s.f.).

b) Intensidad luminosa

Aunque el flujo luminoso nos da idea de la cantidad de luz que emite una fuente en todas las direcciones del espacio, a veces necesitamos saber cómo se distribuye ese flujo en cada una de las direcciones. Para ello definimos la intensidad luminosa como la cantidad de luz emitida en un cono cuyo vértice es la lámpara. Su unidad es la candela (Características de las fuentes de luz, s.f.).

c) Iluminancia o nivel de iluminación

Si un flujo luminoso emitido por una lámpara ilumina una superficie, se define la iluminancia como el cociente entre flujo y superficie. Su unidad es el lux.

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (3)$$

El nivel de iluminación de un espacio será el adecuado, cuando las personas vean lo suficientemente bien para poder realizar de forma idónea sus tareas y el consumo de la instalación sea bajo (Características de las fuentes de luz, s.f.).

d) Luminancia

Las magnitudes hasta ahora estudiadas, hacen referencia a la luz que llega a una superficie, pero existe una magnitud la *luminancia*, que mide la luz que llega al ojo, y que nos permite ver (Características de las fuentes de luz, s.f.).

Definimos la luminancia, como la relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente vista por el ojo en una dirección determinada. Se simboliza con la letra L y su unidad es la candela /metro cuadrado (cd/m^2) (Características de las fuentes de luz, s.f.).

e) Rendimiento luminoso o eficacia luminosa

Otra característica muy interesante de las lámparas eléctricas es el rendimiento luminoso, que es la relación entre el flujo total producido por la lámpara (medido en lúmenes) y la potencia eléctrica consumida por la lámpara (expresada en vatios). Así, se expresa en lúmenes/vatio (Características de las fuentes de luz, s.f.).

Esta magnitud es muy importante a la hora de elegir un sistema de alumbrado, ya que cuanto mayor sea el rendimiento luminoso de una lámpara, menor será su consumo de energía eléctrica (Características de las fuentes de luz, s.f.).

f) Índice de reproducción cromático (IRC)

Indica el grado de calidad que poseen las fuentes luminosas para reproducir los colores lo más exactamente posible.

Si el IRC es menor de 40, se considera que el nivel de reproducción cromática es limitado, y cuando tenemos un valor cercano a 100, se considera que el nivel de reproducción cromática es excelente (Características de las fuentes de luz, s.f.).

Según González (2018), el IRC se clasifican en 4 baremos:

- Excelente: IRC del 85% al 100%.
- Bueno: IRC del 70% al 84%.
- Regular: IRC del 40% al 69%.
- Malo: por debajo del 40%.

g) Temperatura de calor

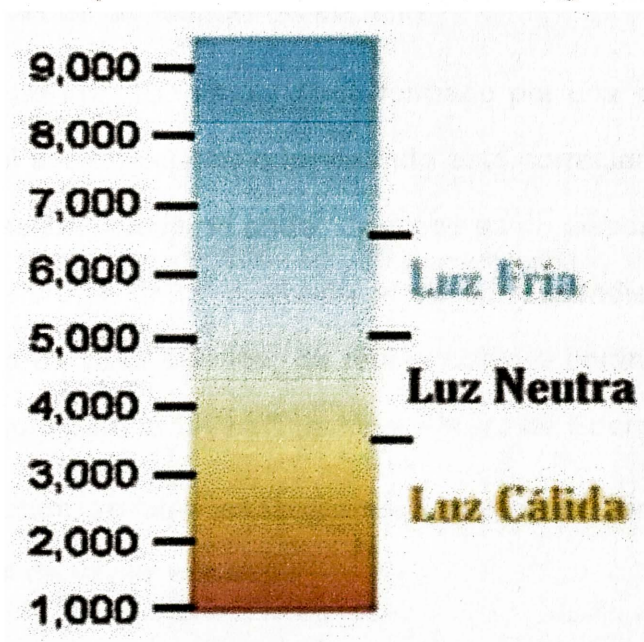
La temperatura de color nos mide "lo blanca que resulta la luz" y se mide en kelvin. Las luces más "amarillentas" tienen una Temperatura de color más baja (<3000 K), mientras que las más "azuladas" tienen mayor Temperatura de color (>6000 K) (Análisis de las instalaciones de alumbrado, s.f.).

En el lenguaje común, acostumbramos a hablar de luces frías y cálidas. Las luces frías son las que tienen radiaciones cercanas al azul y al verde, mientras que las luces cálidas son las que tienen radiaciones más cercanas al rojo y amarillo (Características de las fuentes de luz, s.f.).

Figura 2.

Temperaturas calor en la escala Kelvin

Temperatura de la luz en grados Kelvin



Nota. Características de las fuentes de luz, s.f.

https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/IEI/IEI03/es_IEA_IEI03_Contenidos/website_11_caracteristicas_de_las_fuentes_de_luz.html

2.1.7 Tipos de lampara

Las fuentes de luz eléctricas se dividen en tres grupos según el procedimiento que utilicen para convertir la energía eléctrica en luz.

- Un primer grupo lo constituyen las lámparas que recurren al fenómeno de la termoradiación, que abarcan lámparas incandescentes y halógenas-incandescentes (Características de las fuentes de luz, s.f.).
- El segundo grupo lo constituyen las lámparas de descarga, que funcionan gracias al efecto de la luminiscencia, e incluyen todas las formas de lámparas fluorescentes, lámparas de descarga de vapor de mercurio o vapor de sodio, así como lámparas de halogenuros metálicos (Características de las fuentes de luz, s.f.).

- El tercer grupo lo forman las lámparas con LED (Light Emitting Diode), que aprovechan el efecto de electroluminiscencia que aparece en los semiconductores (Características de las fuentes de luz, s.f.).

La fuente de luz LED es un diodo formado por una superposición de muchas capas de material semiconductor que, cuando está correctamente polarizado, genera luz en una o varias longitudes de onda. Un diodo es un dispositivo que permite el paso de la corriente en una única dirección y su correspondiente circuito eléctrico se encapsula en una carcasa plástica, de resina epoxi o cerámica según las diferentes tecnologías (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía [IDAE], 2018, p. 7)

A continuación, se citan las lámparas de mayor uso en el alumbrado público

2.1.8 Lámparas de vapor metálico

Las lámparas de vapor metálico requieren vaporizar primeramente el metal, que en frío se encuentra en estado sólido o líquido. Por ello, las lámparas están llenas de un gas noble que, al quemarse, produce la temperatura necesaria para evaporar el metal. Para que la lámpara funcione a su rendimiento óptimo, este fenómeno requiere cierto tiempo, normalmente unos minutos. Este periodo de tiempo es lo que se denomina período de arranque del alumbrado de la luminaria.

2.1.9 Lámpara de vapor de sodio de alta presión

Es una lámpara de vapor de sodio de alta presión forma parte de las lámparas de descarga de alta intensidad (HID) de vapor metálico.

Para la descarga se utiliza vapor de sodio a alta presión, lo que aumenta la eficacia luminosa (entre 60 y 130 lm/W). Acción que se produce al aumentar la presión del vapor de sodio. (Características de las fuentes de luz, s.f.).

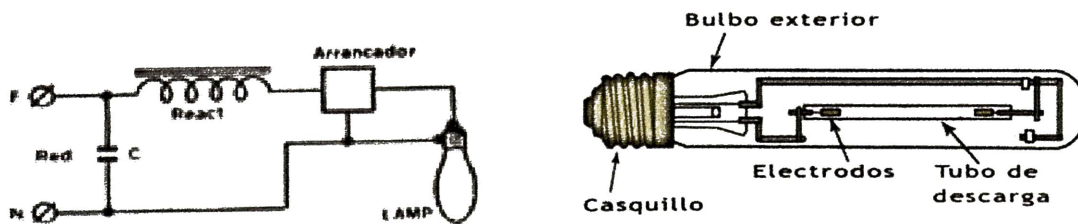
La luz es inicialmente blanca, como es típico de una descarga de xenón, pero después de unos 20 segundos, cuando el sodio ha tenido tiempo de evaporarse y unirse a la descarga, se vuelve amarilla. Se necesitan de cinco a diez minutos para el periodo de ignición, las presiones de funcionamiento y la emisión completa de luz.

Las partes principales de esta lámpara son:

- Tubo de descarga y soporte
- Electrodo e hilos pasante de alimentación
- Relleno
- Ampolla exterior
- Interruptor térmico y/o ayudas para el arranque (si existen)
- Casquillo (Características de las fuentes de luz, s.f.).

Figura 3.

Circuito de lámpara de vapor de sodio y lámpara de vapor de sodio



Nota. Tipos de lámpara, (s.f).

<https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/IEI/IEI03/es IEA IEI03 Contenidos/website 2 tipos de lmparas.html>

En comparación con las bombillas incandescentes, un gran número de bombillas fluorescentes y la mayoría de las lámparas de descarga de alta intensidad en general, las lámparas de sodio de baja presión (LPS) y de sodio de alta presión (HPS) son mucho más eficaces y duraderas. Sólo recientemente han sido superadas en términos de eficiencia energética y vida útil con la introducción de la tecnología LED en la iluminación.

2.1.10 Lámparas con LEDs

La lámpara LED es un semiconductor unido a dos terminales cátodo y ánodo, recubierto por una resina epoxi transparente. Si hacemos circular una corriente por sus terminales, se produce luz. A este efecto le denominamos "electroluminiscencia" (Pérez, García, & Peña, 2018).

Las lámparas con LEDs aprovechan el efecto de electroluminiscencia que aparece en los semiconductores; este tipo de lámparas se vienen imponiendo por su larga vida útil y a su reducido consumo (Características de las fuentes de luz, s.f.).

Como ventajas principales se destaca:

- Pequeñas dimensiones (compactas)
- Alta resistencia contra golpes y vibraciones.
- Vida útil cercana a las 100.000 horas.
- Fabricación de lámparas de colores cambiando el chip-reflector con el que se elaboran.
- Bajo consumo de energía eléctrica.
- Luz direccionable respecto a las lámparas de sodio que son multidireccionales.
- Intensidad lumínica fácilmente regulable, mediante accesorios adicionales.

2.1.11 Sistemas de control binning

La fabricación de LEDs está normada por el sistema de control binning o de manera abreviada bin, que controlan las variables de su ejecución durante el proceso de producción y garantizan el desempeño de los LEDs en Luminosidad, temperatura de color o el voltaje a aplicar, los cuales se establecen en rangos que eviten mayores fluctuaciones.

2.1.12 Tecnología LED

La tecnología LED (*light emitting diode*), es un dispositivo semiconductor, hecho fundamentalmente de silicio, que cuando se polariza directamente, emite luz de varias longitudes de onda; como resultado, una corriente eléctrica pasa a través del elemento que produce la luz.

El silicio tiene ventaja sobre otros materiales semiconductores, como una mayor tolerancia a altas temperaturas y voltajes, lo que lo hace ideal para dispositivos de alta potencia. Además, tienen una mayor eficacia luminosa, lo que significa que producen más luz con menos energía, reduciendo el consumo de energía y teniendo beneficios ambientales importantes.

Aunque el silicio, el componente más importante y utilizado en la electrónica moderna, es un elemento relativamente abundante en la naturaleza, rara vez se descubre en su estado natural, es decir, solo. Suele encontrarse en forma de silicatos (arcillas, granito) y dióxido de silicio (arena, cuarzo, amatista y otros minerales).

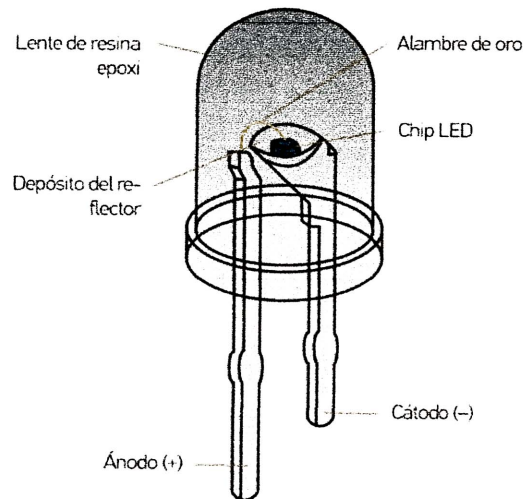
Según Ramos (2017), para hacer un diodo emisor de luz o LED, se necesita muy poca energía inicial (bajo consumo), y se produce lo que se conoce como efecto electroluminiscente.

Al someter el semiconductor a una diferencia de potencial, este reacciona emitiendo energía, parte de ella se pierde en calor, y parte se emite en forma luminosa con amplitud, dirección y fase aleatoria, entre el infrarrojo y el ultravioleta, en función de los materiales usados en el semiconductor, siendo básicamente luz, muy concentrada en zonas del espectro visible al ojo humano (roja, amarilla, verde, azul, violeta, etc.). O sea, el diodo emitiría luz monocromática en la franja del espectro visible que deseemos (Aspectos fundamentales de la tecnología LED en alumbrado exterior, 2017)

Los LEDs básicos tienen una longitud de 5 mm. Y se componen de las siguientes partes, como se presenta en la Figura 4:

Figura 4.

Diódo luminoso



Nota. Fundamentos del faro led, <https://www.hella.com/techworld/es/Informacion-Tecnica/Iluminacion/Faros-LED-833/>

La luz es energía, y el ojo humano es capaz de visualizar la energía del espectro total entre 380nm y 770nm aproximadamente.

La luz deseada debe ser blanca para el alumbrado público. Un LED emisor de luz azul se recubre fosfóricamente para producir el LED blanco que se utiliza en alumbrado exterior. Esta capa funciona como un "filtro", y cuanto más cálida es la luz blanca, más alta es la capa de fósforo, mientras que cuanto más fría es la luz blanca, más bajo es el "filtro" que tiene el LED. De esta manera se consiguen distintas tonalidades de blanco dentro de la zona considerada como "blanca" en el diagrama de colores de la elipse de Macadam, donde se representan todos los colores perceptibles por el ojo humano (Ramos M. 2017).

Cabe resaltar que la luz blanca se define como toda luz cuya emisión lumínica tiene como características principales un índice de reproducción cromática superior a 60 y cuya temperatura de color se encuentra entre 2500K y 6500K (Ramos M. 2017).

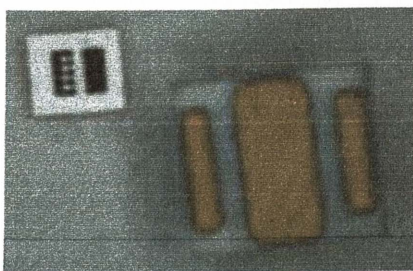
Según Ramos (2017), emiten luz direccional, respecto a los diodos DIP, que puede distribuirse por toda la superficie del soporte, consiguiéndose un amplio ángulo de apertura. Por lo tanto, es apropiado para el alumbrado interior (*indoor*) y exterior (*outdoor*), conformándose una fotometría con un grupo de diodos sobre una placa.

Una de las desventajas de los diodos SMD es la temperatura que generan y su comportamiento a lo largo de la vida del propio LED, ya que al tener un encapsulado plástico (normalmente) su vida no es muy larga, y tienden a depreciarse con mayor facilidad, no envejecen bien en cuanto a sus materiales de fabricación y tienen una alta depreciación de su flujo luminoso con el paso del tiempo (Ramos M. 2017).

Además, tiene baja fiabilidad para aplicaciones de alumbrado exterior, debido a las condiciones exteriores (temperatura, Rayos UV, IP de las luminarias, etc.), aspectos que están mejorando. Y por último su vida media aun en condiciones óptimas, no es muy buena, no tienden a superar las 50.000 horas de vida útil (Ramos M. 2017). A continuación, se presenta la Figura 5.

Figura 5.

LEDs de alta emisión



Nota. Estado del arte del alumbrado público en España, Ramos, M. (2017) https://smart-lighting.es/wp-content/uploads/2017/02/alumbrado_publico_en_espana.pdf

Los LEDs de alta emisión, son muy utilizados en alumbrado interior, No necesitan ser muy eficientes, y las exigencias fotométricas para este tipo de iluminación son menos estrictas que las del alumbrado exterior, lo que las hace aceptables para este tipo de aplicaciones. En su favor, se resaltan dos aspectos: el

primero que son un tipo de LED muy económicos, tanto de producir como de integrar en una luminaria y el segundo es que están evolucionando en eficiencia como en funcionalidad, debido a la inversión de los fabricantes de LEDs (Ramos M. 2017).

c) LEDs de alta potencia

Los LEDs de alta potencia, engloban principalmente los de tipo Chip simple (*Single die*) y los Chip múltiple (*Multidie*). Son LEDs, de 1 W hasta 5 W aproximadamente, en función de la corriente de alimentación sobre ellos. Variando su eficiencia entre 140-190 lm/w, dependiendo del tipo elegido y de la corriente de alimentación, son muy duraderos debido a que superan las 100.000 horas de vida útil y mantienen buen flujo luminoso, además del poco envejecimiento por estar compuesto de materiales de alta calidad. (Ramos M. 2017). A continuación, se presenta en la Figura 6.

Figura 6.

LEDs de alta potencia



Nota. Adaptado de Aspectos fundamentales de la Tecnología LED en alumbrado exterior por Schröder, 2017. <https://www.eseficiencia.es/2017/05/19/aspectos-fundamentales-tecnologia-led-alumbrado-exterior>

Los LEDs de alta potencia del tipo Dado simple (*single die*) han evolucionado sucesivamente de: 0.5mm², 1mm², 2mm². y 4mm², mejorando su eficiencia. La elección de uno u otro tipo de LED depende del fabricante de la luminaria y su ventaja, respecto al montaje. Su uso es más complejo, por su diseño electrónico avanzado y es más costoso que los LEDs de Media potencia (*mid power*), tanto en la adquisición como para el montaje en circuitos electrónicos (Ramos M. 2017).

La emisión lumínica, debido a su protector plástico, es adecuada para su control mediante ópticas externas hechas con diferentes materiales, como: metacrilato,

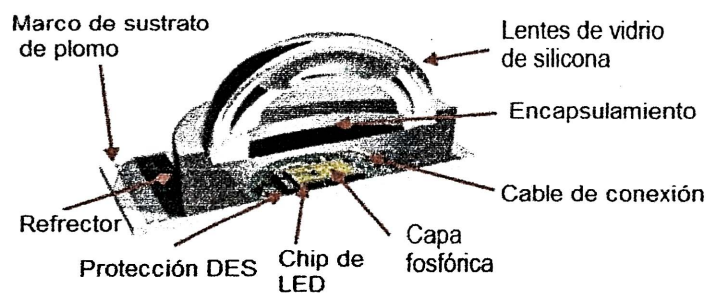
policarbonato o silicona, pero también pueden usarse colimadores o incluso reflectores; haciéndolos apropiados para aplicaciones de alumbrado exterior por su control lumínico (Ramos M. 2017).

En la Figura 7, se presenta el esquema de los componentes de un diodo de alta potencia:

Figura 7.

Esquema de las partes de un diodo de alta potencia tipo single die

LED típico de alta potencia



Nota. Aspectos fundamentales de la Tecnología LED en alumbrado exterior por Schröder, 2017. <https://www.eseficiencia.es/2017/05/19/aspectos-fundamentales-tecnologia-led-alumbrado-exterior>

Es perfecto para su uso en alumbrado público, ya que pueden conformar ópticas específicas para adaptarse a los requisitos de la iluminación exterior.

Los LEDs típicos de alta potencia, tienen una emisión lumínica, por su protector plástico, es ideal para su uso en alumbrado público, ya que pueden conformar ópticas específicas para adaptarse a los requisitos de la iluminación exterior, su vida útil que superan las 100.000h y buena eficiencia (lm/W) las hacen adecuadas para aplicaciones de alumbrado público. La degradación luminosa de este LED es mínima y su eficiencia lm/W supera la de cualquier fuente de luz actual gracias a los materiales utilizados para su construcción, atravesando una evolución tecnológica en este tipo de aplicaciones (sin contar el Sodio Baja Presión, que está en desuso) y por si fuera poco, que nos hace pensar que todos los datos anteriores mejoran con los nuevos

desarrollos que los fabricantes introducen cada cierto tiempo en este tipo de diodos (Ramos M. 2017).

Teniendo por inconveniente el precio, por ser costoso de producir, comprar y montar respecto de otros LEDs, y para ciertas aplicaciones de bajos requisitos, es posible que no sea ideal; sin embargo, es suficiente para la gran mayoría de aplicaciones de alumbrado exterior (Ramos M. 2017).

Cabe resaltar algunos aspectos importantes de este tipo de LEDs:

- Aunque son los más utilizados; sin embargo, su uso corresponde a la habilidad del fabricante de la luminaria, no del diodo. Si los LEDs se disponen muy juntos en el montaje electrónico es muy probable que pierdan eficiencia debido al calor que se generan unos con otros y que, por el efecto cascada, pueden bajar su rendimiento (Ramos M. 2017). La disposición de LEDs en serie hace que se reduzca la eficiencia del conjunto y que se obtengan valores menores de 100 lm/W. Por lo que bajo esta disposición su uso en el alumbrado exterior es limitado, reduciéndose su vida útil.
- También debe destacarse el tipo de LED de alta potencia que se utilizará. Como el de chip único (*single die*) o un chip por encapsulado, ya que los de chip múltiple (*multi die*), son menos eficientes que los LEDs anteriores, debido al uso de varios chips bajo un mismo encapsulado. Dependiendo de la corriente inyectada y del tamaño del chip, se obtendrá la densidad de potencia dentro del chip, afectando la eficiencia y la vida útil. Como ejemplo comparativo de 2 LEDs (de 2 mm² y 4mm²) alimentados a 500 mA, (Ramos M. 2017). En la Tabla 15 obtendremos los siguientes resultados:

Tabla 15.

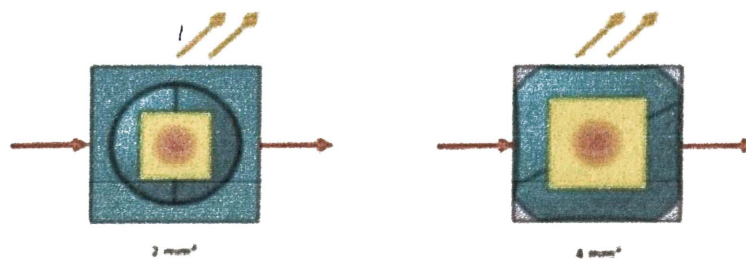
Comparación de LEDs de 2 mm² y 4mm² alimentados a 500 mA

Corriente (mA)	Potencia (W)	Tamaño del chip (mm ²)	Densidad de Potencia (W/mm ²)
500	= 0.5 x 3 = 1.5	2	= 1.5 / 2 = 0.75
500	= 0.5 x 3 = 1.5	4	= 1.5 / 4 = 0.375

Asimismo, se presenta la Fig. 8, correspondiente LEDs de 2 mm² y 4mm² alimentados a 500 mA

Figura 8.

LEDs de 2 mm² y 4 mm²



Nota. Adaptado de Estado del arte del alumbrado público en España, 2017, https://smart-lighting.es/wp-content/uploads/2017/02/alumbrado_publico_en_espana.pdf

Luego los chips de 2 mm² y 4 mm² recibirán la misma potencia (W), pero el chip de 4 mm² tiene menor densidad de potencia.

De esta manera, se puede reducir considerablemente el número de LEDs de una luminaria usando chips de 4mm², obteniendo eficiencias similares o incluso mejores y, sobre todo, se puede obtener un paquete lumínico específico en menor espacio (Ramos M. 2017).

Este LED de alta potencia, tiene una gran salida lumínica y puede alimentarse a una corriente superior al Amperio sin que suponga un inconveniente para el diodo, de esta manera puede reducirse el número de LEDs en la luminaria y reducir su tamaño o sobre el mismo tamaño de luminaria, proporcionando una potencia y una salida lumínica y rendimiento elevado. (Ramos M. 2017).

La desventaja, es el precio, por el costo de producir y costo de montaje del LED que otros, y para ciertas aplicaciones de bajos requisitos, es posible que no sea el ideal, pero para la gran mayoría de aplicaciones de alumbrado exterior, es el LED más que suficiente (Ramos M. 2017).

d) LEDs On Board (COB)

Estos LEDs sobre placas (*LEDs On Board -COB*), son uno de los avances más recientes en la tecnología de iluminación LED. El principio básico de diseño se basa en la integración de varios diodos dentro de un único encapsulado, lo que reduce los costes de fabricación hasta un 20% en comparación con los LEDs Diodo montado sobre superficie (*SMD*) o Media Potencia (*Mid Power*).

Al no requerir de un diseño electrónico complicado, tienen la ventaja de ser relativamente fáciles de usar. Su rendimiento puede alcanzar hasta los 120 lm/W. Por contraprestación, no tienen el mejor diseño para una ideal disipación calórica, de ahí su pérdida de rendimiento (Ramos M. 2017).

Los LEDs sobre placas (*LEDs -COB*), son ampliamente utilizados donde se necesite mayor luminancia (lumen/W), rápida e inmediata, suelen usarse en aplicaciones de interior como pueden ser sustituciones de halógenos, luminarias de emergencia de interior, flashes de dispositivos como cámaras (Ramos M. 2017).

Los LEDs sobre placas, no son los mejores para su uso en exterior, por la poca vida útil, bajo rendimiento, y por dificultad de control lumínico ideal. Sin embargo, es de fácil ensamblaje; así mismo manejo térmico y fácil control fotométrico, obteniendo resultados aceptables. Por ello, sólo un pequeño número de fabricantes de luminarias de exterior los emplean en circunstancias muy limitadas. Por el contrario, desplazan a los SMD a un segundo plano cuando se utilizan en interiores.

Tecnológicamente, el LED más usado para el alumbrado exterior, es el LED de Alta Potencia del tipo dado simple (*single die*) y sobre este, como para los otros, hay que tener en cuenta el Binning a utilizar (Ramos M. 2017).

e) Selección de LED

Para la selección de LEDs es necesario el uso del sistema de control binning (bin), para el control de las variables, durante el proceso de producción que garanticen el desempeño de los LEDs en flujo luminoso, temperatura de color o el voltaje a aplicar, los cuales se establecen en rangos que eviten mayores fluctuaciones. Por ejemplo, las variaciones en el propio proceso que alteran el flujo luminoso, la temperatura de color y la tensión a aplicar son el resultado del recubrimiento y la inserción del fósforo. Aunque la industria ha invertido importantes cantidades de dinero en intentar reducir esta inconsistencia en la producción, el proceso técnico no ha sido capaz de producir una uniformidad exacta en la fabricación de LED. Los fabricantes de LED dividen sus producciones en bins o lotes que consideran. Permitiendo a los fabricantes seleccionar LED que estén en el rango aceptable de desempeño en cuanto a: flujo luminoso, color y algunas veces voltaje (Ramos M. 2017).

2.1.12.2 Componentes de la tecnología LED

A continuación, se señalan algunos componentes de la tecnología LED:

a) Punto de luz LED

Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE, 2018), el punto de luz LED, corresponde al conjunto de la luminaria que incorpora a la tecnología LED y, en caso necesario, su soporte y elementos necesarios para su funcionamiento.

b) Luminaria LED

Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE, 2018), la luminaria LED, es aquella tecnología que la incorpora como fuente de luz y la provee de condiciones de funcionamiento, rendimiento, vida, etc.

c) Módulo LED

Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE, 2018), el módulo LED, está comprendido por uno o varios LED individuales que puede incorporar otros elementos tales como circuitos impresos, disipadores térmicos, sistemas ópticos y conexiones eléctricas; su diseño y características modifican las cualidades y garantías que el propio fabricante de LED individual ofrece, haciendo así necesaria su certificación y pruebas de funcionamiento en su integración en la luminaria y para la correcta aplicación de sus características.

d) Compartimento Óptico:

Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE, 2018), el compartimento óptico es la parte de la luminaria donde se ubica el módulo LED o cubierta que se coloca directamente sobre el LED y protege individualmente al chip.

e) Conjunto óptico:

Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE, 2018), el conjunto óptico es la parte de la luminaria que emite la luz artificial y está compuesta por los módulos LED y componentes que los protegen para obtener la hermeticidad y grado de protección.

f) Conjunto eléctrico:

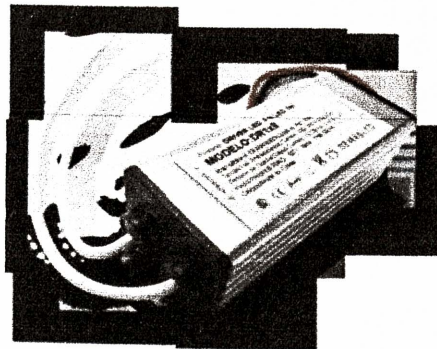
Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE, 2018), el conjunto eléctrico, es la parte de la luminaria que contiene los equipos eléctricos y

electrónicos capaces de conectar, transformar y adaptar la tensión eléctrica de la red de alimentación de baja tensión a los módulos LED que conforman el conjunto óptico.

g) Dispositivo de alimentación y control electrónico (“DRIVER”):

Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE, 2018), el DRIVER, es el elemento auxiliar utilizado para regular el funcionamiento de un módulo LED que adecúa la energía eléctrica de alimentación recibida por la luminaria a los parámetros exigidos para un correcto funcionamiento del sistema. En la Fig. 9, se presenta el DRIVER:

Figura 9.
Driver



Nota adaptado de Requerimientos técnicos exigibles para luminarias con tecnología LED de alumbrado exterior (2020) https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/idae/tecnologias/ahorro_y_eficiencia_energetica/alumbrado_exterior/requerimientos_tecnicos_exigibles_alumbrado_exterior_dic-2020.pdf

h) LM 80

Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE, 2018), el LM80, es el estándar de la Sociedad de Ingeniería de la Iluminación de Norteamérica (IESNA) aprobado para el mantenimiento del flujo luminoso de fuentes de luz LED. LM-80- 08, aplicable al paquete de LED, módulo o matriz, no a un sistema completo (Luminaria); Sin embargo, el LM80 no proporciona orientación para la extrapolación de los resultados de las pruebas.

i) TM 21

Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE, 2018), el TM 21, es el método estándar de la Sociedad de Ingeniería de la Iluminación de Norteamérica (IESNA) aprobado para tomar datos de LM-80 y realizar proyecciones de vida. Una vez conocida la temperatura de funcionamiento del LED en el sistema, con la aplicación de estándares se proyectan la vida útil del paquete, matriz o módulo LED. A continuación, los resultados se utilizan con frecuencia se extrapolan para la vida útil de una fuente LED en un sistema (lámpara o luminaria LED).

j) Placa Base (PCB)

La placa de circuito impreso, conocida como PCB (*Printed Circuit Board*), sirve de base para conectar los componentes electrónicos, incluidas las conexiones de los chips (normalmente realizadas con hilos de oro) y las vías de disipación del calor. Un sistema de disipación de calor puede estar formado por diversas capas y materiales, principalmente cobre y aluminio, así como otros conductores, en función del sistema de disipación que se utilice.

k) Vida útil del LED:

La vida útil del LED, se refiere a la pérdida de una determinada cantidad de luz en una instalación, y es expresada por los fabricantes con una nomenclatura especial (LxxByy):

- Lxx: Mantenimiento de flujo luminoso, definido normalmente como L70, L80 o L90. Indica el porcentaje de flujo luminoso respecto al inicial que va a presentar la luminaria tras un periodo de tiempo determinado, el cual será más o menos elevado dependiendo de las características del LED, la corriente de funcionamiento y el diseño de la propia luminaria - L70 significa que 50,000 horas de funcionamiento mantendrá un flujo luminoso de al menos 70% (IDAE, 2018).

- Byy: Probabilidad de pérdida de flujo luminoso, describe el porcentaje de los LEDs que se sitúan por debajo de un nivel de flujo luminoso (L_{xx}) incluyendo LEDs que pueden sufrir fallo catastrófico (IDAE, 2018).

Periodo o tiempo en horas, en lo que se refiere a su comportamiento en el tiempo, los datos de la vida del led se obtienen inicialmente de la LM 80 y se extrapolan a partir de la TM 21 normalmente a una temperatura específica de 25°C (IDAE, 2018).

En ese sentido, la vida útil representada por la nomenclatura L80B10 significará que el 10% de las lámparas tendrán un flujo luminoso menor del 80% a las 50,000 horas o el 90% de las lámparas va a conservar un flujo luminoso de por lo menos un 80% a las 50 mil horas.

2.1.13 Diferencias entre la tecnología VSAP y LED

Las diferencias de la tecnología LED la hacen ventajosas respecto a las lámparas de VSAP.

En tanto, las luces de diodos emisores de luz (LED) se consideran luces de estado sólido. Por el uso de un semiconductor, la corriente eléctrica suministrada a un LED se convierte en luz. A diferencia de las luces de vapor de sodio de baja y alta presión, un LED no requiere ni emite calor; también es unidireccional, lo que significa que la luz se enfoca en una sola dirección sin desperdiciar energía ni requerir placas de reflexión para redirigir la luz. (Irvine, 2018).

Las luces a base de sodio requieren un período de calentamiento. La que puede tardar hasta 20 minutos en algunos casos, ello significa que al encenderse todas las noches durante un año. Según Irvine (2018), incluso solo 20 minutos adicionales por noche significa que ha desperdiciado dinero encendiendo luces durante aproximadamente 122 horas adicionales al año. Los LED, por otro lado, no

requieren ningún tiempo de calentamiento y alcanzan la iluminación completa tan pronto como se encienden.

Además, las luces de sodio de alta presión (*High Pressure Sodium- HPS*) son omnidireccionales (luz en todas las direcciones) que debe redirigirse mediante una pantalla difusora recuperándose aproximadamente el 50% de su Luz emitida, mientras que los LED son unidireccionales, obteniéndose un coeficiente de utilización que supera el 77% de la luz emitida. Ello implica que una luminaria LED de menor capacidad energética lm/W, proporciona mayor flujo aprovechable en el cono de proyección o iluminación útil que otras fuentes de luz (Irvine, 2018).

Las lámparas LED duran entre 50,000 y 100,000 horas a diferencia de las 15,000 horas de las lámparas de VSAP, significando que reemplazan a estas por tres veces como mínimo. Por otro lado, las lámparas VSAP son más frágiles que las de LEDs. Ya que estas no tienen componentes internos que se dañen con facilidad, tienen más probabilidades de sobrevivir a cualquiera de tipos de vibraciones o sacudidas (Irvine, 2018).

En cuanto a seguridad, las luces de VSAP suelen contener trazas de gases peligrosos. Debido a que son frágiles y funcionan mediante el uso de tuberías de gas y vidrio, estas luces son altamente peligrosas en entornos donde se utilizan otros materiales peligrosos o explosivos. Las empresas de fabricación, las plantas de energía e incluso los centros de reciclaje, por ejemplo, no serían recomendables para usar iluminación de vapor de sodio de alta presión.

Los lúmenes se refieren al nivel de brillo del que es capaz su luz. Las luces de sodio de alta presión (*High Pressure Sodium- HPS*) son bastante eficientes cuando se trata de lúmenes. De hecho, se sabe que conservan el 80 % de sus lúmenes incluso al final de su vida. Los LED son más o menos iguales. Cuando se trata de lúmenes por vatio, ambos tipos de iluminación también son similares; los LED suelen producir de 37

a 120 lúmenes por vatio. Las luces HPS están más cerca de un rango entre 40 y 150 lúmenes por vatio. Sin embargo, debido al problema omnidireccional (multidireccionales) que tienen las luces de sodio de alta presión (HPS), el brillo percibido es mucho menor que el de un LED. Además, los LED vienen en una amplia gama de colores. HPS, sin embargo, no lo hace. De hecho, aunque puede elegir entre casi cualquier gama de colores (2700K a 6000K en el espectro de colores), HPS se limita a un brillo amarillo que se mantiene alrededor de 2200K. Esto afecta el nivel de iluminación y puede afectar la visibilidad (Irvine, 2018)

2.1.14 Equivalencias de lámparas de VSAP y LED

Para la equivalencia de parámetros de iluminación de lámparas de VSAP respecto a las lámparas LED se consideran los métodos de comparación de la iluminación visual entre luminarias de descarga de alta intensidad (HID) y de diodos fotoemisores (LED) que toman en cuenta la respuesta visual y su relación con la eficacia visual relativa expresada en lm/W de las fuentes de luz.

Este enfoque da como resultado la posibilidad de reducir el consumo energético aumentando el rendimiento visual mediante la alineación del suministro de la distribución espectral de potencia (DEP) de la fuente luminosa con la respuesta visual humana, es decir, una correspondencia entre la emisión de la fuente luminosa (DEP) con la DEP de la respuesta visual que aumenta el rendimiento de este último (Emerson, 2018).

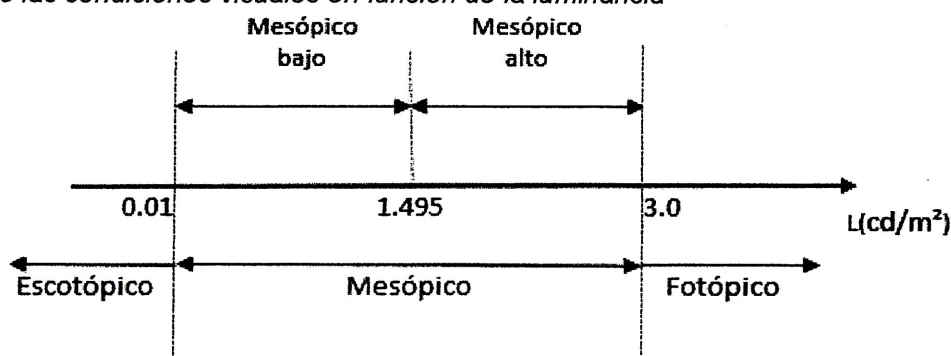
a) Factores de la respuesta visual humana

El sistema visual humano responde a la luz de dos maneras. En primer lugar, ajusta continuamente el tamaño del iris del ojo humano para adaptarse a la iluminancia disponible. Segundo, la retina contiene receptores que responden a las diferencias de la intensidad (contraste claro y oscuro) y al contenido cromático.

La respuesta a la luz de bajo nivel es dominante en niveles de luminancia inferiores a 0,01 cd/m² y es denominada visión escotópica. La luminancia de alto nivel, denominada visión fotópica es dominante en niveles de luminancia (luz reflejada) superiores a 3 cd/m². La respuesta visual combinada de la visión fotópica y escotópica es dominante cuando la luminancia de la superficie (la luz reflejada por superficies) oscila entre 0,01 cd/m² y 3 cd/m², se denomina mesópica (Emerson, 2018). En la Fig. 10, se presenta los límites de las condiciones visuales en función de la luminancia.

Figura 10.

Límites de las condiciones visuales en función de la luminancia

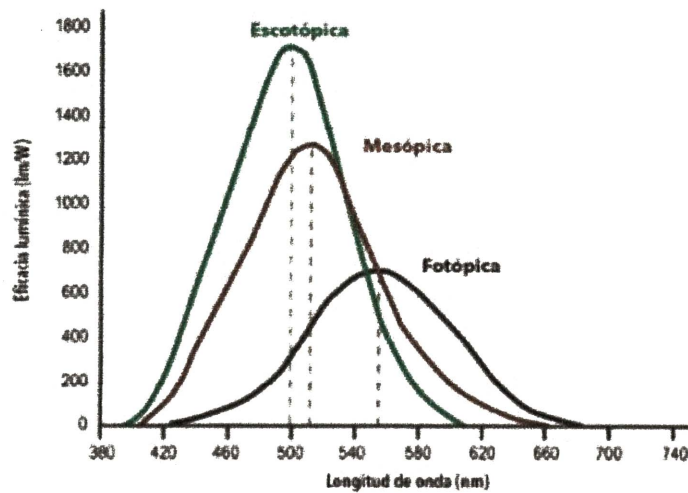


Nota. An Experimental Comparison Between Different Technologies Arising for Public Lighting: LED Luminaires Replacing High Pressure Sodium Lamps, Braga H, 2014, https://www.ufjf.br/nimo/files/2008/10/led_vs_hps_ISIE.pdf

Por otro lado, la vista humana responde mejor, a la distribución espectral de potencia del color de la luz que se mide en nanómetros (nm), en algunas longitudes de onda que en otras. La visión fotópica (línea negra de la Figura 11) tiene un pico de 555 nm, mientras que el pico de la visión escotópica (línea verde) es de 498 nm. La respuesta mesópica es una combinación de las dos, con un pico de 507 nm. En dichas longitudes de onda la eficiencia de radiación es el 100% bajo la respectiva visión, también se observa que para la longitud de onda de 500 nm para la visión fotópica un rendimiento aproximado de 270 lm/W y un rendimiento mayor de 1700 lm/W bajo la condición de la visión escotópica (Emerson, 2018). La respuesta visual y el rendimiento lm/W en las regiones de visión se presenta en la Fig. 11.

Figura 11.

Respuesta de la distribución espectral de potencia (DEP) humana a la Luz.



Nota. Métodos para comparar la iluminación visual entre luminarias de descarga de alta intensidad (HID) y de diodos fotoemisores (LED) a fin de optimizar el rendimiento visual en entornos de iluminación débil, por Emerson, 2018 (<https://www.emerson.com/documents/automation/papel-blanco-m%E9todos-para-comparar-la-iluminaci%C3n-visual-entre-luminarias-de-descarga-de-alta-intensidad-hid-y-de-diodos-fotoemisores-led-con-el-fin-de-optimizar-el-rendimiento-visual-en-entornos-de-iluminaci%C3n-d%E9bil-es-5359352.pdf>)

Según (Wout van Bommel, 2009), la efectividad del espectro de una determinada fuente de luz en circunstancias de visión escotópica, se obtiene mediante la relación escotópica/fotópica (S/P) para distintas fuentes de Luz empleadas en el alumbrado establecido en la CIE TC1-58 Rendimiento visual en el rango mesópico (*Visual Performance in the Mesopic Range*) y permite calcular los lúmenes equivalentes (lúmenes efectivos que salen de la luminaria y que llegan al plano de trabajo) entre lámparas de luminarias de vapor de sodio de alta presión y su equivalente LED. En la Tabla 16, se presenta la relación S/P aproximados para diferentes fuentes de luz:

Tabla 16.

Relación S/P aproximados para diferentes fuentes de luz

Fuente de Luz		Ratio S/P
Amarillo-blanco	Sodio Alta Presión	0,65
Blanco cálido	Halogenuros Metálicos	1,25
Blanco cálido	LEDs	1,3
Blanco frío	Halogenuros Metálicos	1,8
Blanco azulado	LEDs	2,15

Nota. El espectro de las fuentes de luz y bajos niveles de iluminación. Wout van Bommel, 2009, <https://www.ceisp.com/fileadmin/pdf/Comunicaciones/Vision%20Mesopica%202009.pdf>

Aplicando las relaciones S/P como factores de corrección, los lúmenes equivalentes entre lámparas de VSAP y su equivalente LED se determinan, conforme el siguiente ejemplo, para el caso de una lámpara de 400 W de VSAP.

VSAP (400 W a 137.5 lm/W): $55.000 \times 0,65 = 35.750$ lúmenes equivalentes

LED (200 W a 143 lm/W): $28.500 \times 2,15 = 61.275$ lúmenes equivalentes

Luego, una luminaria LED de 200W y 143 lm/W, sustituye adecuadamente a una de luminaria de VSAP de 400W.

De forma similar se realizan cálculos de equivalencia de lúmenes de luminaria LED para las luminarias de VSAP de 150, 70 y 50 W

2.1.15 Telegestión del alumbrado público

Según Santos (2021), la telegestión del alumbrado público es un aspecto fundamental a desarrollar dentro de sus planes de transición a una red inteligente, por las empresas. Generando mayor ahorro económico que el solo hecho de cambio de luminarias de VSAP por luminarias de LED.

Debido a que disponen de una conexión (NEMA socket) que permite la administración remota del alumbrado público, la mayoría de las marcas de luminarias LED están equipadas para ello. Dicho equipo es compatible con dispositivos y controles remotos, captura la información de los parámetros eléctricos de cada

luminaria LED y permite el envío remoto hacia una plataforma de gestión ubicado a kilómetros de distancia; el socket Nema puede ser de 5 o 7 pines, siendo el de 7 pines el que permite hacer dimerización de la luminaria, es decir, la regulación de la intensidad de luz (Santos, 2021).

En lo que respecta a la arquitectura de comunicaciones de los sistemas de telegestión de alumbrado público, existen diferentes tipos, cuya principal diferencia viene dada por la cantidad de equipos de comunicación (concentradores, antenas, repetidores, etc.) que consideran (Santos, 2021).

Existen disposiciones que radican en la instalación de un controlador en las luminarias, además de instalar concentradores en postes y a intervalos regulares de un alcance determinado (a menudo un radio de aproximadamente 1 km). Dichos concentradores reciben la señal proveniente de las luminarias y envían los datos al centro de control usando otro tipo de comunicación, generalmente celular (Santos, 2021).

Por otro lado, la implementación de Puntos de Acceso (equivalentes a concentradores) con un radio de acción de varios kilómetros (5 a 10 km) y una capacidad de comunicación con más de 20.000 luminarias por Punto de Acceso, significa que no es necesario implementar muchos concentradores para poder comunicarse con un gran número de luminarias. El hecho de contar con menos equipos de comunicación desplegados y no depender de la señal celular, trae como resultado considerables ahorros en mantenimiento y evitar pagar datos mensuales por uso de dicha señal (Santos, 2021).

Asimismo, estos puntos de acceso (*Access Point*) permiten comunicarse no solo con luminarias, sino también con medidores de energía residenciales, totalizadores o medidores de gran industria, trayendo como resultado la optimización

en la inversión de infraestructura de comunicaciones y el no necesitar implementar otra tecnología para cada aplicación (Santos, 2021).

Los sistemas de telegestión del alumbrado público presentan las siguientes funcionalidades:

a) Lecturas remotas de parámetros eléctricos

Esta función permite realizar la lectura remota de: tensiones, corrientes, potencias y energía consumida de cada luminaria o grupo de luminarias, reduciendo el desplazamiento de personal a campo, dichas lecturas de las luminarias LED puede ser comparada con la lectura de energía del totalizador de alumbrado público y con ello determinar las pérdidas o posibles robos de energía en el circuito de alumbrado (Santos, 2021).

b) Encendido y apagado automático

El encendido y apagado automático permite programar encendidos y apagados automáticos de las luminarias según horarios preestablecidos, reduciéndose la inversión en fotoceldas o temporizadores (Santos, 2021).

c) Dimerización remota

Según Santos (2021), con esta tecnología, el alumbrado público puede programarse según horarios o zonas, y la intensidad luminosa puede reducirse a porcentajes del 90%, 70%, 50% o cualquier otro valor inferior al 100%. La empresa de distribución eléctrica experimenta así un importante ahorro de energía sin afectar visualmente al cliente final.

d) Detección de eventos

Mediante esta función es posible recibir eventos de interrupciones de luminarias o circuito de luminarias y visualizarlos de forma gráfica (mediante cambios de estado basado en colores), esto permite detectar luminarias que se encuentran

apagadas cuando deberían estar encendidas, y de esta manera la compañía eléctrica puede tomar acción inmediata para solucionar el problema y de esta forma mejorar considerablemente los indicadores de calidad de servicio (Santos, 2021).

Todas estas funcionalidades y otras adicionales con las que cuentan los sistemas de telegestión de alumbrado público, están enfocadas en mejorar tanto la gestión comercial y la gestión operativa, trayendo como resultado grandes ahorros para la compañía eléctrica de distribución y sobre todo mejorar la calidad del servicio para el usuario final (Santos, 2021).

En consecuencia, la aplicación adecuada de la mejor tecnología que mejor se adapte a la realidad de la zona del proyecto (zonas urbanas, zonas rurales, zonas con poca o nula cobertura celular, etc.) garantiza la base de visión estratégica a largo plazo (Santos, 2021).

2.1.16 Valor agregado de Distribución – VAD

La Ley de Concesiones Eléctricas establece que el VAD para una empresa modelo eficiente con un nivel de calidad preestablecido en las normas, contempla los siguientes aspectos:

- Costos asociados al usuario, independientes de su demanda de potencia y energía.
- Pérdidas estándar de distribución en potencia y energía.
- Costos estándares de inversión, mantenimiento y operación asociados a la distribución, por unidad de potencia suministrada (Ministerio de Energía y Minas, 1992, Artículo 64).

2.1.17 Sector de distribución típico

Se define como sector de Distribución Típico a las instalaciones de distribución con características técnicas similares en la disposición geográfica de la carga,

características técnicas, así como costos de inversión, operación y mantenimiento, conforme establecido en el numeral 13 del Anexo del Decreto Ley N° 25844, Ley de Concesiones Eléctricas (Ministerio de Energía y Minas, 1992).

Asimismo, se precisa en dicho numeral que una concesión puede estar integrada por uno o más Sectores de Distribución Típicos.

La Resolución Directoral N.º 0292-2017-MEM/DGE, establece cinco sectores típicos de distribución que deben de considerarse en la fijación de los VAD de los periodos del 2018 al 2022 y de 2019 al 2023, según:

- Sector de Distribución Típico 1: Sector urbano de alta densidad de carga.
- Sector de Distribución Típico 2: Sector urbano de media y baja densidad de carga.
- Sector de Distribución Típico 3: Sector urbano-rural de baja densidad de carga.

Sector de Distribución Típico 4: Sector rural de baja densidad de carga.

- Sector de Distribución Típico Sistemas Eléctricos Rurales (SER): Sector rural de baja densidad de carga a efectos de la Ley General de Electrificación Rural (Ministerio de Energía y Minas, 2017).

2.1.18 Emisiones de dióxido de carbono

Las emisiones de CO₂ o llamados gases de efecto invernadero (GEI) son liberados a la atmósfera como resultado de las actividades cotidianas o la producción de un bien o servicio. Comprende todo el proceso de producción desde las materias primas hasta el tratamiento de los residuos (Díaz,2016).

Por los gases de efecto invernadero, la temperatura media de la Tierra es de unos 15 °C; sin ellos, el planeta sería extremadamente frío, con una temperatura de - 18 °C. Sin embargo, al acumularse estos en exceso, aumenta la temperatura del planeta sobre los niveles normales, poniendo en peligro la supervivencia de toda forma de vida. El uso de combustibles fósiles (petróleo, gas, carbón, leña, etc.) da lugar a la

Tanto la entrada como la salida deberían especificarse en términos de cantidad y calidad, y debiendo ser medibles.” (NTP-ISO 50001:2020).

Así mismo el DS-09-2017-EM, establece que la eficiencia energética, es la relación entre la energía aprovechada y la total utilizada en cualquier proceso de la cadena energética (El Peruano, 2017).

a) Uso eficiente de la energía (UEE).

Según el DS N.º 053-2007-EM, el uso eficiente de la energía es la utilización de los energéticos en las diferentes actividades económicas y de servicios, mediante el empleo de equipos y tecnologías con mayores rendimientos energéticos y buenas prácticas y hábitos de consumo (El Peruano, 2007).

2.1.20 Evaluación del proyecto

Según el Ministerio de Desarrollo Social - División de Evaluación Social de Inversiones (MDS-DESI, 2014), la evaluación socioeconómica (también conocida como evaluación social) permite determinar en qué medida un proyecto de inversión tendrá un efecto sobre la sociedad en términos económicos y de bienestar.

2.1.21 Costo de capital promedio ponderado (WACC):

El costo de capital promedio ponderado (*weighted average capital of cost*) es el costo de oportunidad del capital de realizar una actividad económica en un determinado sector o empresa basada en su estructura de financiamiento. De esta manera, la tasa WACC representa la rentabilidad promedio que requiere un inversionista como mínimo para invertir en el sector o empresa (Osinermin, 2017)

Según Auqui (2020), el WACC es aquel que los inversionistas esperan como retorno sobre sus inversiones y es la tasa que utilizan las empresas del sector para calcular la anualidad del Valor Nuevo de Reemplazo (VNR). El VNR, es el mismo que forma parte de la tarifa eléctrica que determinan las concesionarias de distribución y

Tanto la entrada como la salida deberían especificarse en términos de cantidad y calidad, y debiendo ser medibles.” (NTP-ISO 50001:2020).

Así mismo el DS-09-2017-EM, establece que la eficiencia energética, es la relación entre la energía aprovechada y la total utilizada en cualquier proceso de la cadena energética (El Peruano, 2017).

a) Uso eficiente de la energía (UEE).

Según el DS N.º 053-2007-EM, el uso eficiente de la energía es la utilización de los energéticos en las diferentes actividades económicas y de servicios, mediante el empleo de equipos y tecnologías con mayores rendimientos energéticos y buenas prácticas y hábitos de consumo (El Peruano, 2007).

2.1.20 Evaluación del proyecto

Según el Ministerio de Desarrollo Social - División de Evaluación Social de Inversiones (MDS-DESI, 2014), la evaluación socioeconómica (también conocida como evaluación social) permite determinar en qué medida un proyecto de inversión tendrá un efecto sobre la sociedad en términos económicos y de bienestar.

2.1.21 Costo de capital promedio ponderado (WACC):

El costo de capital promedio ponderado (*weighted average capital of cost*) es el costo de oportunidad del capital de realizar una actividad económica en un determinado sector o empresa basada en su estructura de financiamiento. De esta manera, la tasa WACC representa la rentabilidad promedio que requiere un inversionista como mínimo para invertir en el sector o empresa (Osinermin, 2017)

Según Auqui (2020), el WACC es aquel que los inversionistas esperan como retorno sobre sus inversiones y es la tasa que utilizan las empresas del sector para calcular la anualidad del Valor Nuevo de Reemplazo (VNR). El VNR, es el mismo que forma parte de la tarifa eléctrica que determinan las concesionarias de distribución y

que se dirige a los usuarios finales y forman parte del Valor Agregado de Distribución (VAD).

Osinergmin (2017) Documento de Trabajo 37, determina la tasa WACC para los sectores supervisados y regulados por Osinergmin y para los subsectores de generación, transmisión y distribución, hace un ponderado de las tasas respectivas y obtiene un WACC promedio para la Industria Eléctrica de 8.7%.

2.1.22 Análisis costo-beneficio

Con la ayuda de este tipo de estudio, es posible determinar cuál de una serie de alternativas genera el mayor beneficio neto para la sociedad. Requiere identificar, cuantificar y valorizar todos los beneficios y costos del proyecto y obtener un indicador como el Valor Actual Neto (VAN) o la Tasa Interna de Retorno (TIR) que permita concluir sobre la rentabilidad económica del proyecto (MDS-DESI, 2014, p.12).

2.1.23 Valor actual neto social

El valor actual neto social (VANS), es el principal indicador utilizado en el análisis costo-beneficio social y permite transformar los flujos de beneficios netos futuros al presente (MDS-DESI, 2014). Éste se calcula de acuerdo a lo siguiente:

$$VANS = -I_0 + \sum_{t=1}^T \frac{(B_t - C_t)}{(1+r)^t} + \frac{VR}{(1+r)^T} \quad (3)$$

Donde:

VANS: Valor actual neto social del proyecto;

I_0 : Inversión inicial;

B_t : Beneficios sociales en el año;

C_t : Costos sociales en el año;

r : Tasa social de descuento;

T : Horizonte de evaluación total del proyecto;

Vr: Valor residual del proyecto al final de su vida útil

El criterio de decisión es: si VANS <0, el proyecto no es rentable socialmente; si

VANS>0, el proyecto es rentable. (MDS-DESI, 2014, p.17)

2.1.24 Valor actual de costos

El valor actual de los costos (VAC), es el indicador a utilizar cuando se comparan alternativas de proyecto que tienen los mismos beneficios y vida útil.

$$VAC = \sum_{t=1}^T \frac{Ct}{(1+r)^t} \quad (4)$$

Donde:

VAC: Valor actual de los costos;

Ct: Costos sociales del proyecto;

r: Tasa social de descuento;

T: Horizonte de evaluación del proyecto (MDS-DESI, 2014).

El criterio de decisión es seleccionar aquella alternativa que tenga el menor VAC (MDS-DESI, 2014, p.20).

2.1.25 Tasa Interna de Retorno

La tasa interna de retorno (TIR), mide la rentabilidad promedio que tiene un determinado proyecto, suponiendo que los flujos se reinvierten en el mismo proyecto y a una tasa constante. Matemáticamente, corresponde a la tasa de descuento que hace el VANS igual a cero (MDS-DESI, 2014).

La TIR se usa complementariamente al VANS y se estima de la siguiente manera:

$$0 = -I_0 \sum_{t=1}^T \frac{(Bt - Ct)}{(1+\rho)^t} + \frac{VR}{(1+\rho)^T} \quad (5)$$

Donde:

ρ : Tasa interna de retorno

r : tasa de interés del sector

El criterio de decisión al utilizar la TIR es el siguiente: si $\rho^* > r^*$, es conveniente ejecutar el proyecto; si $\rho^* < r^*$, no es conveniente ejecutar el proyecto, donde r es la tasa social de descuento (MDS-DESI, 2014, p.19).

2.1.26 Horizonte de evaluación

Según el Ministerio de Desarrollo Social - División de Evaluación Social de Inversiones (MDS-DESI, 2014), la vida útil del proyecto está representada por el horizonte de evaluación (ELA), que es un número de años. La vida útil económica de los equipos suele ser inferior a su vida útil técnica en los proyectos que implican su sustitución. En términos generales, el sistema de alumbrado alcanza el final de su vida útil económica cuando las ventajas de seguir utilizándolo superan los gastos asociados a ello. El fin de su vida útil económica en ese momento define el mejor momento para sustituirlo, por lo que este instante es el ideal para hacerlo.

A efectos de esta metodología, se aconseja que los proyectos basados en la sustitución técnica "anticipada" tengan el horizonte de evaluación del proyecto determinado utilizando el momento óptimo de sustitución (MDS-DESI, 2014, p.19).

2.1.27 Emisiones indirectas de la generación de electricidad y de calor

Consiste en emisiones producidas por el uso de energía, calor, vapor o refrigeración. La instalación en la que se genera la energía o el calor es la fuente real de las emisiones procedentes de la electricidad y el calor, el vapor o la refrigeración adquiridos. La organización donde se estiman las emisiones es diferente de estas instalaciones productoras.

2.1.28 Beneficios por disminución de gases de efecto invernadero

Una externalidad negativa relacionada con los proyectos de alumbrado público es la producción de GEI, que aumenta el efecto invernadero por encima de su valor habitual y contribuye así al fenómeno del cambio climático. Los sistemas de alumbrado y las emisiones de gases de efecto invernadero están vinculados por el consumo energético de combustibles altamente contaminantes como el carbón y otros combustibles fósiles. Es así como, una alternativa de proyecto que tenga asociada una disminución en el consumo de electricidad, podrá reconocer beneficios por ahorro en emisión de GEI (MDS-DESI, 2014, p.43).

2.1.29 Cuantificación de las emisiones

Los factores de emisión, que son valores típicos que relacionan la cantidad de un contaminante liberado a la atmósfera con una actividad relacionada con la emisión de ese contaminante, son la forma más utilizada para cuantificar las emisiones asociadas a diversas actividades. Éste es el caso de la electricidad, en que las emisiones asociadas a la producción de un kWh de energía son función los métodos particulares de la extracción, producción y transporte del combustible utilizado en la generación de la energía (MDS-DESI, 2014, p.44).

Es necesario comparar el consumo total de energía de las luminarias que se sustituirán con el consumo previsto de las nuevas luminarias para calcular las reducciones totales de emisiones atribuibles a la prestación del servicio de alumbrado con un alumbrado público más eficiente desde el punto de vista energético. Para determinar las emisiones vinculadas a cada alternativa debe utilizarse la siguiente expresión (MDS-DESI, 2014, p.45):

$$EEr = \frac{e * Fr}{1000} \quad (6)$$

Donde:

E_E: son las emisiones procedentes de la electricidad consumida por el alumbrado público en la región (ton CO₂/año);

e: es la energía consumida (KWh/año);

Fr: es el factor de emisión de la región (kg /KWh);

2.1.30 Factores de emisión

Para calcular las emisiones asociadas al consumo eléctrico se aplica un factor de emisión de CO₂ atribuible al suministro eléctrico (kg de CO₂ eq/kWh), que representa las emisiones asociadas a la generación eléctrica conectada a la red del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) necesaria para cubrir el consumo, sin poder determinar con exactitud qué central eléctrica se generó la electricidad.

Considerando la información que se dispone, el factor de emisión del SEIN es 0.4521 kg de CO₂ eq/kWh (Ministerio de Economía y Finanzas, 2021 en NOTA TÉCNICA PARA EL USO DEL PRECIO SOCIAL DEL CARBONO EN LA EVALUACIÓN SOCIAL DE PROYECTOS DE INVERSIÓN)

2.1.31 Valoración del ahorro en emisiones

El precio social del carbono, que representa un precio de transacción de los derechos de emisión de carbono en los mercados internacionales, para determinarlo debe utilizarse un precio que refleje el coste social de los gases de efecto invernadero que se emiten al medio ambiente con el fin de valorar la emisión evitada de CO₂ (MDS-DESI, 2014, p.45).

$$A_e = P_c * \Delta E_E \quad (7)$$

Donde:

A_e : es el ahorro en emisiones generado por el menor consumo energético;

P_c : es el precio social del carbono

ΔE_E: es el cambio en las emisiones asociadas al consumo de electricidad

2.2 Marco conceptual.

En seguida, se señalan algunos términos relacionados con el marco conceptual:

Luminaria. Distribuye, filtra o altera la salida de luz de una o varias lámparas de una instalación de alumbrado público.

Lámpara. Equipo (bombillas, focos, florecientes, etc.) encargadas de generar luz mediante energía eléctrica.

Demanda. Cantidad de potencia o energía, requerida para el funcionamiento de una luminaria.

Alícuota. Importe mínimo pagado por el servicio de alumbrado público

Lúmenes. Cantidad total de luz producida por una fuente de luz, en diferentes direcciones.

Tarifa. Costo promedio de alumbrado público por kWh determinado para el concesionario eléctrico.

Escotópica. Actividad de visión, de mínima percepción de color, en bajos niveles de luminancia de 0.01 cd/m² e inferiores.

Fotópica. Actividad de visión, de mayor percepción del color en rangos de luminancias mayores a 3 cd/m².

Mesópica. Adaptación de la visión en el rango superior a la visión escotópica e inferior a la fotópica.

Telegestión. Grupo de dispositivos con capacidad de control remoto de parámetros eléctricos de luminarias, basados en tecnología informática, electrónica y de telecomunicaciones, incluye uso de dimmer

Dimmer. Dispositivo tecnológico que permite regular la intensidad luminosa

Pines, número de conectores de socket Nema que permiten funciones como prendido apagado, monitoreo, regulación de luminarias, según el número de estos.

CAPÍTULO III: HIPOTESIS Y OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

3.1 Hipótesis general

- ✓ El análisis del uso de luminarias LED respecto a los de vapor de sodio de alta presión - VSAP permite la reducción de costos del servicio de alumbrado público en una empresa de distribución de energía eléctrica del sur del Perú.

3.1.1 Hipótesis específicas

- ✓ La innovación tecnológica con luminarias LED influye en la reducción de la facturación y de la alícuota del servicio de alumbrado público respecto a las luminarias convencionales de VSAP en una empresa de distribución de energía eléctrica del sur del Perú.
- ✓ La innovación tecnológica con luminarias LED del servicio de alumbrado público influye en la protección del medio ambiente (disminución de emisiones CO₂) respecto a luminarias convencionales de VSAP en una empresa de distribución de energía eléctrica del sur del Perú.
- ✓ La innovación tecnológica con luminarias LED del servicio de alumbrado público es viable económicamente respecto a luminarias convencionales de VSAP en una empresa de distribución de energía eléctrica del sur del Perú.

3.2 Operacionalización de variables

La operacionalización de variables, es el procedimiento de traducción de los conceptos y variables a indicadores susceptibles de medición (Monje. C, 2011)

Las hipótesis se construyen mediante el empleo de una o más variables, y se acude a la operacionalización de las mismas con el propósito de verificar y contrastar las hipótesis planteadas mediante su medición e interpretación de resultados. Tal procedimiento se inicia por las variables que definen las hipótesis.

Variable Dependiente

$Y_1 =$ Facturación de alumbrado público

Dimensiones e Indicadores

DIMENSIONES	INDICADORES	MEDICION
- Facturación de alumbrado público con luminarias LED y con luminarias VSAP (S/.)	% de disminución de Facturación mensual de A.P. % de reducción de alícuota de A.P.	Comparación de resultados de cálculos respectivos
- Reducción de emisiones de CO ₂ (TN CO ₂)	% de disminución de emisiones de CO ₂	
- Viabilidad económica de la sustitución de Luminarias LED	Valor actual neto (VAN) Tasa interna de retorno (TIR) Valor actual de capital (VAC).	

Variable Independiente

$X_1 =$ Consumo de energía de alumbrado público kWh

Dimensiones e Indicadores

DIMENSIONES	INDICADORES	MEDICION
- Consumo de energía por tipo de luminaria alumbrado público (LED y VSAP)	Potencia instalada de lámparas de A.P. (kW)	Comparación de resultados de cálculos respectivos
	Horas de funcionamiento (horas)	

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo y diseño de la Investigación

La investigación es de tipo cuantitativa debido a que está basado en conteos y magnitudes; y permitirá la posibilidad de generalizar con mayor amplitud los resultados, este tipo de investigación permite realizar cálculos matemáticos, con empleo de recursos informáticos y analizar datos estadísticos de estudios similares para propósitos de la investigación.

La investigación cuantitativa proporciona control sobre los fenómenos, la posibilidad de generalizar más ampliamente las conclusiones y un punto de vista basado en recuentos y magnitudes. También, brinda una gran posibilidad de repetición y se centra en puntos específicos de tales fenómenos, además de que facilita la comparación entre estudios similares (Hernández, Fernández & Batista, 2014).

El propósito de los diseños transversales es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado, es como “tomar una fotografía” de algo que sucede (Hernández, Fernández & Batista, 2014, P154)

El diseño de la investigación corresponde al no experimental y dentro de ésta se clasifica como transeccional o transversal. La información es obtenida principalmente de fuentes secundarias como reportes, relacionados a alumbrado público, remitidos por la empresa de distribución eléctrica a Organismos fiscalizadores y de resultados de informes de fiscalización que verifican el cumplimiento de disposiciones establecidas relacionadas a la facturación de alumbrado público a cargo de dicho organismo. La información recolectada corresponde al tipo de unidades y potencia respectiva de alumbrado público y de la facturación del servicio de alumbrado público, la información y los datos corresponden a un momento en el tiempo y se establecen relaciones entre las variables independientes (consumo -kWh- de alumbrado público) y dependientes (como facturación de alumbrado público;

emisiones de CO₂) que intervienen; asimismo, se evalúa la viabilidad económica del reemplazo de lámparas de VSAP por lámparas LED, con la finalidad de dar respuesta a la hipótesis planteada

Además, como diseño se propone la siguiente estrategia para la obtención de datos que permita responder al planteamiento del problema:

De la información del parque de alumbrado público de la Empresa de distribución de energía eléctrica que corresponde a un momento en el tiempo (segundo semestre año 2020), mediante una tabla dinámica del Excel se agruparán los datos por tipo de lámpara y respectiva potencia luego se determina la cantidad y potencia instalada de alumbrado público de VSAP de la empresa, posteriormente se realizará el reemplazo por lámparas equivalentes LED, es decir equivalencias en lúmenes/watt o cd/m². Bajo esta tecnología se calcularán los factores que intervienen en el cálculo de la facturación del alumbrado público como Kalp (kWh de Ap/usuario), PALP (porcentaje máxima de facturación de alumbrado público) y alícuotas, obtenida la facturación del alumbrado público, con la innovación tecnológica, en un periodo dado que permitirá establecer su incidencia respecto a la facturación con lámparas convencionales de vapor de sodio de alta presión y su relación entre la variable independiente y dependiente, de esta forma se confirmará o descartará las hipótesis planteadas.

4.1.1 Técnicas e instrumentos de obtención de datos

Conforme se ha señalado la fuente para la recopilación de información, principalmente, es secundaria como reportes del parque de alumbrado público realizados por la empresa bajo estudio a Organismos fiscalizadores e informes del proceso de fiscalización para verificar el cumplimiento de disposiciones establecidas relacionadas a la facturación de alumbrado público a cargo de dichos organismos; además, las propias normas referidas a la facturación forman parte de la

documentación obtenida. La información recopilada es pública la misma que fue solicitada y corresponde al año 2020.

La data fue recopilada del Parque de Alumbrado Público (FORMATO ALP-P1) de la empresa de distribución de energía eléctrica motivo de estudio, el mismo presenta información de tipo de lámpara y potencia nominal por subestación de distribución y sistema eléctrico, dicha información es fiable. En la Tabla 17, se presenta Información de parque de alumbrado público a diciembre 2020:

Tabla 17.

Información de parque de alumbrado público a diciembre 2020

INFORMACIÓN DEL PARQUE DE ALUMBRADO PÚBLICO
(A DICIEMBRE 2020)

FORMATO ALP-P1

Sistema Eléctrico	Sector	N° SED	Medidor A.P.(2)		Lámparas				Magnitudes			
			Marca	N° Serie	Año de Fabricación (Año)	Código de Lámpara (3)	Potencia Nominal (Watts) (4)	Potencia Eq. Auxiliares (Watts) (4)	Cantidad de Lámparas	Potencia Total (kW)	Factor de Expansión de Pérdidas ET	Energía Mensual A.P. (kWh)(5)
NOMBRE PROVINCIA	2	1000007	CLOU SHENZI	2019171403	2,019	LD055	60	5	36	2.4	1,0651	928
	2	1000044	CLOU SHENZI	2016207450	2,018	LD038	40	4	34	1.5	1,0651	594
	2	1000044	CLOU SHENZI	2018207450	3,018	NA070	70	7	17	0.1	1,0651	30
	2	1000044	CLOU SHENZI	2018207450	2,018	LD040	240	24	3	0.8	1,0651	309
	2	1000003	ELSTER	1422758	2,010	NA050	50	5	19	2.1	1,0651	838
	2	1000003	ELSTER	1422758	2,010	NA070	70	7	25	1.8	1,0651	782
	2	1000004	ELSTER	1081122	2,007	LD038	40	4	10	0.4	1,0651	172
	2	1000004	ELSTER	1081122	2,007	LD055	60	6	33	2.2	1,0651	881
	2	1000004	ELSTER	1081122	2,007	NA050	50	5	3	0.2	1,0651	84
	2	1000004	ELSTER	1081122	2,007	NA070	70	7	18	1.0	1,0651	391
	2	1000010	ELSTER	01423143	2,010	NA050	50	5	49	2.7	1,0651	1053
	2	1000011	ELSTER	10054183	2,010	NA050	50	5	75	4.1	1,0651	1911
	2	1000012	ELSTER	10054074	2,010	NA050	50	5	40	2.2	1,0651	859
	2	1000014	ELSTER	10054178	2,010	NA050	50	5	36	1.9	1,0651	782
	2	1000014	ELSTER	10054178	2,010	NA070	70	7	1	0.1	1,0651	30
	2	1000016	ELSTER	1081130	2,007	NA050	50	5	48	2.6	1,0651	1031
	2	1000016	ELSTER	8091130	2,007	NA070	70	7	22	1.7	1,0651	692
	2	1000017	ELSTER	10026694	2,010	LD038	40	4	8	0.4	1,0651	138
	2	1000017	ELSTER	10026694	2,010	LD055	60	6	15	1.0	1,0651	387
	2	1000017	ELSTER	10026694	2,010	LD090	90	9	9	0.9	1,0651	348
	2	1000017	ELSTER	10026694	2,010	NA150	150	15	1	0.2	1,0651	64
	2	1000020	ELSTER	01493146	2,010	LD038	40	4	6	0.3	1,0651	108
	2	1000020	ELSTER	01493146	2,010	NA050	50	5	8	0.4	1,0651	172
	2	1000020	ELSTER	01493146	2,010	NA070	70	7	18	1.4	1,0651	541
	2	1000020	ELSTER	01493146	2,010	NA150	150	15	3	0.5	1,0651	193
	2	1000022	ELSTER	01508003	2,008	NA050	50	5	4	0.2	1,0651	88
	2	1000022	ELSTER	01508003	2,008	NA070	70	7	26	2.0	1,0651	782
	2	1000022	ELSTER	01508003	2,008	NA150	150	15	5	0.6	1,0651	322
	2	1000023	ELSTER	10026698	2,003	LD038	40	4	6	0.3	1,0651	103
	2	1000023	ELSTER	10026698	2,003	NA050	50	5	5	0.4	1,0651	172
	2	1000023	ELSTER	10026698	2,003	NA070	70	7	28	2.3	1,0651	642
	2	1000023	ELSTER	10026698	2,003	NA150	150	15	5	0.6	1,0651	322
	2	1000023	ELSTER	10026698	2,003	LD240	240	24	10	4.2	1,0651	1050
	2	1000024	ELSTER	01428138	2,010	NA050	50	5	42	2.3	1,0651	902
	2	1000026	ELSTER	01422638	2,010	NA050	50	5	1	0.1	1,0651	21

Nota. Adaptado de formato de ALP-P1 de la empresa concesionaria.

Además, se cuenta con información de facturación de alumbrado público de dicha empresa del año 2020, de los procesos de fiscalización y cumplimiento de la Resolución Ministerial N.º 074-2009-MEM/DM. En la Tabla 18, se presenta resultados de cálculo de facturación de alumbrado público durante el año 2020:

Tabla 18.

Resultados de cálculo de facturación de alumbrado público año 2020

Mes/año	Facturación AP Según fiscalización	Facturación AP D1
Enero-2020	2436572.11	2434215.30
Febrero-2020	2426464.87	2348682.20
Marzo-2020	2483475.54	2341845.40
Abril-2020	1959578.39	2337205.00
Mayo-2020	2473491.40	2265055.60
Junio-2020	2681694.79	2354382.50
Julio-2020	2767042.40	2782728.30
Agosto-2020	2905771.18	2773494.30
Setiembre-2020	2826763.45	2897624.10
Octubre-2020	2846594.90	2751190.00
Noviembre-2020	2807705.25	2953141.30
Diciembre-2020	2752792.33	2679413.10
Total	31367946.61	30918977.1

Nota. Proceso de fiscalización año 2020, Osinergmin

En la Tabla 19, se presenta los datos de tipo y potencia de lámpara de la empresa concesionaria en agrupado con la tabla dinámica de Excel.

Tabla 19.

Tipo y potencia de lámpara de la empresa concesionaria

Código de Lámpara (3)	Datos	
	Cantidad de Lámparas	Potencia Total (kW)
LD038	9360	412
LD055	6836	451
LD240	409	108
NA050	66716	3870
NA070	52359	4032
LD090	3050	306
NA150	5879	999
LD150	849	140
NA400	19	8
HG240	1	0
AH020	1271	28
HG080	109	10
LD125	2438	322
NA250	1985	546
HA150	4	1
HA250	8	2
DIC050	11	0
LD030	69	2
DC020	9	0
Total general	151382	11237

4.1.2 Método de reemplazo de lámparas de VSAP por equivalente LED

Las lámparas equivalentes LED deben cumplir con las exigencias lumínicas mínimas de las instalaciones de alumbrado de vías públicas establecidos en la Norma Técnica DGE “Alumbrado de Vías Públicas en Zonas de Concesión de Distribución”.

Asimismo, cumplen con lo establecido en las fichas de homologación LED aprobada por el MEM que especifican características de luminarias para diferentes tipos de vía establecidos en la Norma Técnica de Alumbrado Público.

Por otro lado, se considera como premisa que los tipos de luminarias de VSAP instaladas sobre las diferentes vías del ámbito de la empresa de distribución satisfacen a las características de las vías, conforme lo establecido en la Norma Técnica DGE “Alumbrado de Vías Públicas en Zonas de Concesión de Distribución”, debido a que este aspecto es motivo de fiscalización y de cumplimiento por parte de las empresas.

El reemplazo de las lámparas de vapor de sodio de alta presión por su equivalente LED se realizará considerando que las prestaciones de la tecnología LED en cuanto a potencia, niveles de iluminancia (lux), rendimiento lumínico (lm/W), cd/m², (temperatura), sean similares o superiores a los parámetros de luminosidad de las luminarias de vapor de sodio, actualmente, instalados.

Además, se consideran los métodos de comparación de la iluminación visual entre luminarias de descarga de alta intensidad (HID) y de diodos fotoemisores (LED) que toman en cuenta la respuesta visual y su relación con la eficacia visual relativa expresada en lm/W de las fuentes de luz; los valores típicos de la relación S/P (relación entre la luminosidad fotópica y escotópica de un espectro de luz específico) que además definen la efectividad del espectro de distintas fuentes de Luz empleadas en alumbrado, en condición escotópica, que están establecidos en la CIE (TC1-58 Visual Performance in the Mesopic Range), y permiten calcular los lúmenes

equivalentes entre lámparas de luminarias de vapor de sodio de alta presión y su equivalente LED. En la Tabla 20, se presenta la relación S/P para diferentes fuentes de luz

Tabla 20.

Relación S/P para diferentes fuentes de luz

Fuente de Luz		Ratio S/P
Amarillo-blanco	Sodio Alta Presión	0,65
Blanco cálido	Halogenuros Metálicos	1,25
Blanco cálido	LEDs	1,3
Blanco frío	Halogenuros Metálicos	1,8
Blanco azulado	LEDs	2,15

Nota. El espectro de las fuentes de luz y bajos niveles de iluminación: fundamentos (Wout van Bommel, s.f)

<https://www.ceisp.com/fileadmin/pdf/Comunicaciones/Vision%20Mesopica%202009.pdf>

Aplicando las relaciones S/P como factores de corrección, los lúmenes equivalentes entre lámparas de vapor de sodio de alta presión y su equivalente LED se determina, conforme lo siguiente:

VSAP (400 W a 120 lm/W): $48.000 \times 0,65 = 31.200$ lúmenes equivalentes

LED (120 W a 125lm/W): $15.000 \times 2,15 = 32.250$ lúmenes equivalentes

Entonces, una luminaria LED de 120 W y 125 lm/W, sustituye adecuadamente a una de luminaria de vapor de sodio de 400W.

VSAP (50 W a 120 lm/W): $5.500 \times 0,65 = 3.575$ lúmenes equivalentes

LED (38 W a 106 lm/W): $4.030 \times 2,15 = 8.665$ lúmenes equivalentes.

Entonces, una luminaria LED de 38 W y 106 lm/W, sustituye adecuadamente a una luminaria de vapor de sodio de 50 W.

VSAP (70 W a 113 lm/W): $6.500 \times 0,65 = 4.225$ lúmenes equivalentes

LED (45 W a 133 lm/W): $6.000 \times 2,15 = 12.900$ lúmenes equivalentes.

Entonces, una luminaria LED de 45 W y 133 lm/W, sustituye adecuadamente a una luminaria de vapor de sodio de 70 W.

VSAP (150 W a 113 lm/W): $17.000 \times 0,65 = 11.050$ lúmenes equivalentes

LED (70 W a 120 lm/W): $8.400 \times 2,15 = 18.600$ lúmenes equivalentes.

Entonces, la luminaria LED de 70 W y 120 lm/W, sustituye adecuadamente a una luminaria de vapor de sodio de 150 W.

VSAP (250 W a 110 lm/W): $33.000 \times 0,65 = 21.450$ lúmenes equivalentes

LED (120 W a 100 lm/W): $13.200 \times 2,15 = 28.380$ lúmenes equivalentes.

Entonces, la luminaria LED de 120 W y 100 lm/W, sustituye adecuadamente a una luminaria de vapor de sodio de 250 W.

VSAP (400W a 137.5 lm/W): $55.000 \times 0,65 = 35.750$ lúmenes equivalentes

LED (200 W a 100 lm/W): $20.000 \times 2,15 = 43.000$ lúmenes equivalentes

Entonces, la luminaria LED de 200 W y 100 lm/W, sustituye adecuadamente a una luminaria de vapor de sodio de 400 W.

En la Tabla 21, se presenta las equivalencias calculadas de luminarias de VSAP y LED:

Tabla 21.

Equivalencias calculadas de luminarias de VSAP y LED

LAMPARA	EQUIVALENCIAS (W/Lúmenes Equivalentes)				
VSAP	50	70	150	250	400
Lúmenes Equivalentes	3575	4225	11050	21450	35750
LED	38	45	70	120	200
Lúmenes Equivalentes	8665	12900	18600	28380	43000

4.1.3 Facturación de AP

La facturación de alumbrado público se realiza conforme la Resolución Ministerial N.º 074-2009- MEM/DM, Cálculo del porcentaje máximo de facturación por el servicio de alumbrado público, en el escenario del servicio atendido con lámparas

equivalentes LED reemplazadas, bajo esta tecnología se calcularán los factores que intervienen en el cálculo de la facturación del alumbrado público como Kalp (kWh de Ap/ por usuario), PALP (porcentaje máxima de facturación de alumbrado público) y alícuotas, obtenida la facturación de un determinado periodo, se comparará con la facturación calculada con la tecnología de vapor de sodio de alta presión, permitiendo establecer su incidencia respecto a esta y su relación entre las variable dependiente e independiente, de esta forma se confirmará o descartará las hipótesis planteadas.

4.1.4 Técnicas de análisis e interpretación de información o datos

El análisis de la información obtenida, los cálculos de los factores que intervienen en la facturación de alumbrado público permitirán determinar la influencia de la implementación de la tecnología LED en la facturación del servicio de alumbrado público, así como su viabilidad económica para la aplicación en la empresa de distribución eléctrica motivo de estudio.

4.2 Unidades de análisis

La unidad de análisis es la facturación del servicio de alumbrado público de una empresa de distribución eléctrica ubicada en el sur del país bajo el escenario de la innovación del alumbrado público con luminarias de lámparas LED equivalentes que sustituyen a luminarias convencionales de VSAP. Además, se analiza la viabilidad económica de la innovación tecnológica y su influencia en la protección del medio ambiente.

Al segundo semestre del 2020, según la Información de parque de alumbrado público de las empresas concesionarias (Formato ALP-P1 al año 2020), la cantidad de lámparas de alumbrado público de esta empresa concesionaria de servicio público de electricidad es de 151,382 unidades, de las cuales 126,958 unidades que constituyen el 84% corresponden a lámparas de vapor de sodio de alta presión y la potencia instalada del parque de alumbrado público es de 11.25 MW correspondiendo a

lámparas de vapor de sodio de alta presión 9.68 MW (86%), el mismo constituye una capacidad de ahorro y un potencial de reemplazo por lámparas más eficientes como la tecnología LED.

El consumo de alumbrado público de la empresa concesionaria en el año 2020 fue de 45,085 MWh y la facturación respectiva correspondió al 7.31 % de la facturación total de la empresa. En la Tabla 22, se presenta el consumo de energía y facturación de la empresa concesionaria:

Tabla 22.

Consumo de energía y facturación de la empresa concesionaria

Descripción	Cantidad
Consumo Energía (MW.h)	625025.00
Consumo AP (MW.h)	45085.00
Importe total en miles \$/.	422924.00
Importe clientes libres	11100.00
Importe clientes regulados	380905.00
Importe AP	30919.00
%AP (\$/.)	7.31%

Nota. Procesamiento y análisis de la información comercial – años 2020 y 2021

En el mismo periodo, la empresa de distribución de energía eléctrica motivo de estudio cuenta con 579,944 usuarios distribuidos en los sectores típicos 2, 3, 4 y SER según la siguiente proporción porcentual 37%, 3%, 51 y 9%, respectivamente.

4.2.1 Población y muestra

La facturación del servicio de alumbrado público se realiza a nivel de toda la zona de concesión; por tanto, la población es similar a la muestra.

4.3 Matriz de consistencia

Título: “Análisis de la reducción de costos del servicio de alumbrado público en una empresa de distribución de energía eléctrica del sur del Perú con luminarias led respecto a los de vapor de sodio de alta presión – VASP”

Problema	Hipótesis	Objetivo	Variable dependiente	Variable Independiente	Indicadores	Metodología
Principal						
¿En qué medida las luminarias led respecto a los de vapor de sodio de alta presión influye en los costos de facturación del servicio de alumbrado público en una empresa de distribución de energía eléctrica del sur del Perú?	El análisis del uso de luminarias LED respecto a los de vapor de sodio de alta presión - VASP permitirá la reducción de costos del servicio de alumbrado público en una empresa de distribución de energía eléctrica del sur del Perú	Analizar la reducción de costos del servicio de alumbrado público en una empresa de distribución de energía eléctrica del sur del Perú con luminarias LED respecto a los de vapor de sodio de alta presión – VASP	<ul style="list-style-type: none"> -Facturación de alumbrado público con lámparas VSAP y lámparas LED (S/.); -Reducción de emisiones de CO2 (TN CO2); -Viabilidad económica de la sustitución de Luminarias. 	<ul style="list-style-type: none"> -Potencia de lámparas (kW). -Consumo de energía de A.P. (kW.h) 	<ul style="list-style-type: none"> -% de disminución de facturación mensual de A.P. (S/.) -% de reducción de la alicuota. -VAN, TIR -Disminución de emisiones de CO2. 	<ul style="list-style-type: none"> Investigación cuantitativa Diseño no experimental, transversal correlaciona
Secundario						

<p>¿En qué medida la innovación tecnológica con luminarias LED respecto a las luminarias convencionales de VSAP influye en la facturación y en la alícuota del servicio de alumbrado público en una empresa de distribución de energía eléctrica del sur del Perú?</p>	<p>La innovación tecnológica con luminarias LED influye en la reducción de la facturación y de la alícuota del servicio de alumbrado público respecto a las luminarias convencionales de VSAP en una empresa de distribución de energía eléctrica del sur del Perú.</p>	<p>Analizar la influencia de la innovación tecnológica en una empresa de distribución de energía eléctrica del sur del Perú con luminarias LED respecto a las luminarias convencionales de VSAP en la facturación y en la alícuota del servicio de alumbrado público.</p>	<p>- Facturación de alumbrado público y alícuota de alumbrado público</p>	<p>- Potencia de lámparas (kW) - Consumo de A.P. (kW.h)</p>	<p>- % de disminución de facturación mensual de A.P. (S/.) - % de reducción de la alícuota.</p>	
<p>¿Cómo influye la innovación tecnológica del servicio de alumbrado público con luminarias LED en la protección del medio ambiente en comparación con luminarias convencionales de VSAP en una empresa de distribución de energía eléctrica del sur del Perú?</p>	<p>La innovación tecnológica del servicio de alumbrado público con luminarias LED es viable económicamente respecto a luminarias convencionales de VSAP en una empresa de distribución de energía eléctrica del sur del Perú</p>	<p>Evaluar la influencia en la protección del medio ambiente de la innovación tecnológica del servicio de alumbrado público en una empresa de distribución de energía eléctrica del sur del Perú con luminarias LED respecto a luminarias convencionales de VSAP.</p>	<p>- Protección del medio ambiente</p>	<p>- Reducción de emisiones TON/año</p>	<p>Disminución de emisiones</p>	

<p>¿En qué medida es viable económicamente la innovación tecnológica del servicio de alumbrado público con luminarias LED en comparación con luminarias convencionales de VSAP en una empresa de distribución de energía eléctrica del sur del Perú?</p>	<p>La innovación tecnológica del servicio de alumbrado público con luminarias LED es viable económicamente respecto a las luminarias convencionales de VSAP en una empresa de distribución de energía eléctrica del sur del Perú.</p>	<p>Determinar la viabilidad económica de la innovación tecnológica del servicio de alumbrado público en una empresa de distribución de energía eléctrica del sur del Perú con luminarias LED en comparación con luminarias convencionales de VSAP</p>	<p>Inversión</p>	<p>- Inversión (S/.)</p>	<p>- VAN > 0; - TIR = dentro +/- 4 puntos porcentuales de la tasa (12%) establecida en la LCE</p>	
--	---	---	------------------	--------------------------	--	--

CAPÍTULO V: DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

5.1 Descripción de la Empresa de distribución eléctrica bajo estudio.

La empresa de distribución de energía eléctrica cuyo análisis de la influencia en la facturación de alumbrado público del reemplazo de lámparas de VSAP por lámparas LED se realizará está ubicada en el sur del país. No se detallada mayor información de manera directa, por ser los datos de carácter reservados.

Al segundo semestre del año 2020, la empresa de distribución de energía eléctrica motivo de estudio, contaba con 579,944 usuarios distribuidos en sectores típicos 2, 3, 4 y SER según la siguiente proporción 37%, 4%, 50% y 9%, respectivamente.

Por otro lado, según el Procesamiento y Análisis de la Información Comercial al año 2020, Osinergmin – Gerencia de Regulación de Tarifas, el consumo de alumbrado público de la empresa concesionaria en el año 2020 fue de 45,085 MWh y la facturación respectiva por dicho servicio correspondió al 7.31% de la facturación total de la empresa. En la Tabla 23, se presenta el consumo de alumbrado público del año 2020.

Tabla 23.

Consumo de alumbrado público año 2020

Uso	Energía MWh	Facturación Miles S/.
Consumo AP	45085	30919
Consumo total	625025	422924
Porcentaje AP	7.21%	7.31%

Nota. Adaptado de Procesamiento y Análisis de la Información Comercial al año 2020, Osinergmin

Al segundo semestre del año 2020, la cantidad de lámparas de alumbrado público de esta empresa concesionaria era de 151 382 unidades, de las cuales 126 958 unidades constituían el 84% corresponden a lámparas de VSA, con 11.25 MW de

potencia instalada del parque de alumbrado público, correspondiendo a lámparas de VSAP: 9.68 MW; siendo este valor la capacidad de ahorro y un potencial de reemplazo.

En ese sentido, el reemplazo de luminarias de lámparas de VSAP por lámparas LED equivalentes en la empresa de distribución eléctrica motivo de estudio se presenta como una oportunidad tecnológica para reducir el consumo de energía y la facturación por el servicio del alumbrado público.

5.2 Situación del alumbrado en la empresa de distribución bajo estudio.

Según la información del Parque de Alumbrado Público (Formato ALP-P1) de la empresa de distribución motivo de estudio, al mes de diciembre 2020 se encontró instaladas 151382 luminarias. En la tabla 24, se presenta los tipos de luminarias instaladas.

Tabla 24.

Tipos de Luminarias instaladas

TIPO DE LUMINARIA					TOTAL
MERCURIO	HALOGENAS	SODIO	LED	OTRAS	
110	1283	126958	23011	20	151382
0.07%	0.85%	83.87%	15.20%	0.01%	100%

Nota. Formato ALP-P1 de la empresa concesionaria.

Asimismo, según la misma fuente, la potencia instalada de alumbrado público de la empresa de distribución se presenta en la tabla 25

Tabla 25.

Potencia instalada de lámparas (kW)

LAMPARAS DE VSAP (kW)					OTROS	TOTAL kW
50	70	150	250	400		
3869.53	4249.91	999.43	555.80	8.36	1566.93	11249.96

Nota. Formato ALP-P1 de la empresa concesionaria.

Las cantidades de luminarias de vapor de sodio de alta presión por potencia de lámparas se distribuyen, conforme se presenta en la tabla 26:

Tabla 26.

Luminarias de vapor de sodio de alta presión

LUMINARIA DE VAPOR DE SODIO					TOTAL
50	70	150	250	400	
66716	52359	5879	1985	19	126958
52.55%	41.24%	4.63%	1.56%	0.01%	100.00%

Nota. Formato ALP-P1 de la empresa concesionaria.

La demanda de las lámparas convencionales de vapor de sodio de alta presión y sus respectivos equipos auxiliares se presenta en la tabla 27:

Tabla 27.

Potencia instalada de lámparas (kW)

POTENCIA DE LAMPARAS DE VSAP					TOTAL KW.
50	70	150	250	400	
3869.528	4249.91	999.43	555.80	8.36	9683.03

Nota. Formato ALP-P1 de la empresa concesionaria.

5.3 Cálculo de equivalencia entre lámparas VSAP y LED

Los parámetros de luminosidad de las lámparas LED que sustituirán a las lámparas de alumbrado de VSAP serán similares o superiores a los, actualmente, instaladas y deben cumplir con las exigencias lumínicas mínimas de las instalaciones de alumbrado de vías públicas establecidos en la Norma Técnica DGE "Alumbrado de Vías Públicas en Zonas de Concesión de Distribución".

La Información de características de lámparas a utilizar se presentan en la Tabla 28:

Tabla 28.

Características de luminarias de vapor de sodio de alta presión y LED

VSAP			LED						IP	Marca
Potencia (W)	Lumen	Vida útil (hrs)	Potencia (W)	Lumen	Vida útil (hrs)	IRC	Temperatura de color (K)			
50	5 500	28000	30	3300	50000	70	4000/5000	65	Lámparas y Luminarias	
70	6 500	28000	38	4030	100000	70	4000	65	Philips	
			40	5000	50000	>70	4000/5000	65	Luminaria MR Lotus	
			45	5850	50000	>70	5000	65	Luminaria LVD LED Cree	
150	17000	24000	50	5750	50000	>70	4000/5000	65	Luminaria MR Lotus	
	17000		50	5000	50000	>80	4000	65	Luminaria LEDVANCE	
			70	8400	50000	>70	4000/5000	65	Luminaria MR One	
250	33000	24000	108	10900	100000	70	4000	65	Philips	
			120	14400	50000	>80	5000	65	Luminaria LEDVANCE	
			120	16000	50000	>80	5000	65	Luminaria Megabright	
400	55000	24000	200	20000	50000	>80	5700	65	Luminaria LEDVANCE	
			200	28500	50000	>70	5000	66	Luminaria Promelsa	
			210	23100	50000	>80	5000	65	Luminaria LEDVANCE	

Nota. Adaptado de catálogos de luminarias MR Lotus, LEDVANCE, Philips - Promelsa

Como factor de comparación se toma en cuenta el rendimiento (lm/w) y aplicando las relaciones S/P establecidos en la CIE TC1-58 Visual Performance in el rango mesópico (*Mesopic Range*) [relación para un determinado espectro entre su luminancia escotópica (S) y su luminancia fotópica (P)] como factores de corrección, de los lúmenes equivalentes entre lámparas de luminarias de VSAP y su equivalente LED, presentados en la tabla 16, el cual se multiplica por la luminancia de la respectiva lámpara, obteniéndose la respectiva equivalencia, conforme los siguiente:

Vapor de sodio (50 W a 120 lm/W): $5.500 \times 0,65 = 3.575$ lúmenes equivalentes

LED (38 W a 106 lm/W): $4.030 \times 2,15 = 8.665$ lúmenes equivalentes.

Vapor de sodio (70 W a 113 lm/W): $6.500 \times 0,65 = 4.225$ lúmenes equivalentes

LED (45 W a 130 lm/W): $5850 \times 2,15 = 12.578$ lúmenes equivalentes.

Vapor de sodio (150 W a 113 lm/W): $17.000 \times 0,65 = 11.050$ lúmenes equivalentes

LED (70 W a 120 lm/W): $8.400 \times 2,15 = 18.600$ lúmenes equivalentes.

Vapor de sodio (250W a 110 lm/W): $33.000 \times 0,65 = 21.450$ lúmenes equivalentes

LED (120W a 133 lm/W): $16.000 \times 2,15 = 34.000$ lúmenes equivalentes.

Vapor de sodio (400W a 137.5 lm/W): $55.000 \times 0,65 = 35.750$ lúmenes equivalentes

LED (200W a 143 lm/W): $28.500 \times 2,15 = 61.275$ lúmenes equivalentes

En la Tabla 29, se presentan las equivalencias calculadas de luminarias de VSAP y las luminarias LED:

Tabla 29.

Equivalencia de luminarias de VSAP y luminarias LED

LAMPARA	EQUIVALENCIAS (W/Lúmenes Equivalentes)				
VSAP	50	70	150	250	400
Lúmenes Equiv.	3575	4225	11050	21450	35750
LED	38	45	70	120	200
Lúmenes Equiv	8665	12578	18600	34000	61275

5.4 Proyección de la nueva demanda con lámparas LED

Para el cálculo de la proyección de la nueva demanda con la sustitución de las lámparas de VSAP por equivalentes LED, al multiplicar la cantidad por la demanda respectiva en cada caso resulta 5.55 MW, conforme se presenta en la Tabla 30.

Tabla 30.

Potencia equivalente de lámparas LED

POTENCIA DE LED EQUIVALENTES A LAS LAMPARAS VSAP					TOTAL kW
50	70	150	250	400	
2535.21	2361.06	411.53	238.20	3.80	5549.80

A la fecha del estudio, de una de potencia instalada de lámparas de vapor de sodio de Alta presión de 9.68 MW (tabla 27), la potencia con lámparas LED equivalentes resulta en 5.55 MW (Tabla 30).

5.5 Impacto económico del reemplazo de lámparas LED en la facturación del alumbrado público y la alícuota.

Para determinar el impacto económico de la aplicación de la eficiencia energética del reemplazo de lámparas LED en la facturación del alumbrado público y en la alícuota respectiva es necesario determinar los nuevos factores KALP, debido a que estos fueron calculados o determinados para una empresa modelo con

características de sectores típicos similares y, preponderantemente, con parque de alumbrado de lámparas de vapor de sodio.

5.5.1 Cálculo de los factores KALP

Para el cálculo del porcentaje máximo de facturación interviene el factor (KALP), kWh/usuario-mes de alumbrado público por cliente, el mismo se determinará considerando el Informe Técnico N.º 503-2019 GART de la GERENCIA ADJUNTA DE REGULACION TARIFARIA que sugiere examinar y modificar el dimensionamiento de las infraestructuras de alumbrado público de las empresas concesionarias. En base a lo citado, se calculará el parque de alumbrado público bajo el escenario de lámparas de VSAP reemplazadas por su equivalente LED de la concesionaria y sus usuarios al mes de diciembre 2020. En la Tabla 31, se presenta los Factores KALP para tecnología de lámparas LED:

Tabla 31.

Factores KALP para tecnología de lámparas LED

Descripción	FACTORES KALP (Kw.h/mes)				TOTAL
	ST2	ST3	ST4	SER	
kW	4195.73	448.80	2142.35	330.09	7116.96
kW.h mes	1510463.16	161566.20	771245.28	118831.32	2562105.96
Usuarios	212061	22606	293685	51592	579944
Factor KALP	7.1	7.1	2.6	0.4	

5.5.2 Cálculo del porcentaje máximo de facturación por el servicio de alumbrado público sectores típicos 2, 3, 4 y Especial

El cálculo del porcentaje máximo de la facturación por el servicio de alumbrado público se realiza con los factores KALP calculados con el parque optimizado con la innovación tecnológica para el periodo correspondiente al año 2020.

Para los Sectores de Distribución Típicos 2, 3, 4, 5 y Especial, la Resolución Ministerial N° 074-2009-EM/DM establece determinar la facturación del alumbrado público en base al consumo leído, y que no debería exceder el porcentaje máximo de

facturación por el servicio de alumbrado público (El Peruano, 2009): La cual se calcula mediante la ecuación (2), pág. 20.

El Monto total máximo del semestre móvil por el servicio de alumbrado público (FALP) de la ecuación 2, se obtiene al reemplazar la información (número de suministros (N), factor KALP y PMAP), de cada uno de los meses del semestre y se presentan en la tabla 32:

Tabla 32.

Monto total máximo del semestre móvil enero – junio 2020

MONTO TOTAL MAXIMO DEL SEMESTRE MOVIL (FALP)					
Ene-20	Feb-20	Mar-20	Abr-20	May-20	Jun-20
Jul'19a Dic'19	Ago'19 a Ene'20	Sep'19a Feb'20	Oct'19 a Mar'20	Nov'19 a Abr'20	Dic'19 a May'20
8,952,082.26	9,367,572.53	9,790,209.06	10,211,896.63	10,603,751.59	10,625,606.65

Igualmente, el monto total facturado del semestre móvil de la ecuación 2, se obtiene al reemplazar los montos totales facturados de los últimos 6 meses anteriores al mes de facturación y se presentan en la tabla 33:

Tabla 33.

Monto facturado total móvil enero – junio 2020

MONTO FACTURADO TOTAL DEL SEMESTRE MOVIL (FTOT)					
Ene-20	Feb-20	Mar-20	Abr-20	May-20	Jun-20
Jul'19a Dic'19	Ago'19 a Ene'20	Sep'19a Feb'20	Oct'19 a Mar'20	Nov'19 a Abr'20	Dic'19 a May'20
626,288,605	625,770,220	620,910,177	617,470,181	591,673,269	580,393,408

Efectuando la división de los resultados de los meses respectivos (valores de tabla 32/tabla 33) se obtiene el PALP con el cambio tecnológico - luminarias LED

Los valores calculados del PALP de enero a junio 2020, se presentan en la Tabla 34, correspondiente a la situación actual (lámparas de VSAP) y con el proyecto de cambio tecnológica (lámparas LED):

Tabla 34.

Porcentaje máximo por facturación de alumbrado público (PALP) enero – junio 2020

PORCENTAJE MÁXIMO DE FACTURACIÓN POR EL SERVICIO DE ALUMBRADO PÚBLICO (PALP)						
Situación A.P.	Ene-20	Feb-20	Mar-20	Abr-20	May-20	Jun-20
Actual VSAP	2.66%	2.74%	2.81%	2.98%	3.05%	3.09%
Cambio Tecnológico LED	1.43%	1.50%	1.58%	1.65%	1.79%	1.83%
% Reducción	43.6%	42.3%	41.3%	39.93%	40.0%	36.4%

El monto facturado total móvil y el monto facturado total móvil de julio a diciembre 2020 con el cambio tecnológico se presentan en el Anexo 3. Los valores calculados del PALP de julio a diciembre 2020, se presentan en la Tabla 35, con lámparas de VSAP y con el proyecto de cambio tecnológica (lámparas LED):

Tabla 35.

Porcentaje máximo por facturación de alumbrado público (PALP) julio – diciembre 2020

PORCENTAJE MÁXIMO DE FACTURACIÓN POR EL SERVICIO DE ALUMBRADO PÚBLICO (PALP)						
Situación A.P.	Jul-20	Ago-20	Set-20	Oct-20	Nov-20	Dic-20
Actual VSAP	3.14%	3.06%	3.05%	2.93%	2.89%	2.92%
Cambio Tecnológico LED	1.85%	1.88%	1.84%	1.83%	1.76%	1.73%
% Reducción	41.1%	38.6%	39.7%	37.5%	39.1%	40.8%

5.5.3 Facturación de alumbrado público y alícuota respectiva.

La facturación de alumbrado público con la tecnología LED se obtiene al multiplicar la facturación total de la concesionaria con el PALP obtenido previamente, para cada uno de los meses.

En la tabla 36 se presenta la facturación de alumbrado público (FALP Innovación) y la alícuota con la tecnología LED y los porcentajes de reducción respecto a las de VSAP.

Tabla 36.

Comparación de factores de facturación de alumbrado público con tecnología VSAP y LED

Mes/ Año	FACTURACION CONCESIONARIA		FACTORES DE ALUMBRADO PUBLICO							
	Alumbrado Público	Facturación Total	PALP VSAP	PALP Innovación	FALP Innovación	% reducción Facturación AP	Usuarios por Peso	Alicuota VSAP	Alicuota Innovación	% reducción Alicuota
Ene-20	2,434,215.30	91,426,666.45	2.66%	1.43%	1,306,871.51	46%	4,003,404	0.61	0.33	46%
Feb-20	2,348,682.20	89,056,269.54	2.74%	1.50%	1,333,142.80	43%	3,842,442	0.63	0.35	45%
Mar-20	2,341,845.40	88,306,118.93	2.81%	1.58%	1,392,367.85	41%	3,919,291	0.63	0.36	44%
Abr-20	2,337,205.00	65,690,716.79	2.98%	1.65%	1,086,411.67	54%	3,159,507	0.62	0.34	45%
May-20	2,265,055.60	81,159,134.01	3.05%	1.79%	1,454,504.27	36%	3,802,101	0.65	0.38	41%
Jun-20	2,354,382.50	89,576,815.90	3.09%	1.83%	1,639,935.94	30%	3,838,161	0.70	0.43	39%
Jul-20	2,782,728.30	95,999,436.68	3.14%	1.85%	1,779,432.35	36%	3,835,290	0.72	0.46	36%
Ago-20	2,773,494.30	98,295,544.03	3.06%	1.88%	1,851,820.24	33%	4,043,637	0.72	0.46	36%
Set-20	2,897,624.10	97,389,980.41	3.05%	1.84%	1,788,679.09	38%	4,167,367	0.68	0.43	37%
Oct-20	2,751,190.00	97,001,502.10	2.93%	1.83%	1,772,783.94	36%	4,135,936	0.69	0.43	38%
Nov-20	2,953,141.30	100,167,297.84	2.89%	1.76%	1,762,145.68	40%	4,361,832	0.64	0.40	37%
Dic-20	2,679,413.10	101,558,892.45	2.92%	1.73%	1,757,966.33	34%	4,249,108	0.65	0.41	36%
Total	30,918,977.10		2.94%	1.72%	18,926,061.66	39%	47,358,076.00	0.66	0.40	40%

5.6 Viabilidad económica de la innovación tecnológica de sustitución de lámparas VSAP por LED.

Para la evaluación de la viabilidad económica del proyecto de implementación de reemplazo de lámparas VSAP por LED, se consideran los costos calculados de las unidades de alumbrado público reconocidos en el VNR y aprobados en el VAD del año 2019 y costos de mercado para las luminarias LED en los casos, específicamente, no reconocidos.

Según lo determinado, los lúmenes equivalentes entre las luminarias VSAP respecto a las luminarias LED, se presenta en la Tabla 37:

Tabla 37.

Equivalencia de luminarias de VSAP y luminarias LED

LAMPARA	EQUIVALENCIAS (W/Lúmenes Equivalentes)				
VSAP	50	70	150	250	400
Lúmenes equivalentes	3575	4225	11050	21450	35750
LED	38	45	70	120	200
Lúmenes equivalentes	8665	12578	18600	34000	61275

En la Tabla 38, se presenta el costo de luminarias de VSAP y LED

Tabla 38.

Costo de luminarias de VSAP y LED

Luminaria	Costo		Luminaria	Costo	
	US\$/Und	VAD o Mercado		US\$/Und	VAD o Mercado
VSAP 50W	87	Electro Sur Este	LED 38W	151	
VSAP 70W	111	Electro Sur Este	LED 45W	151	
VSAP 150W	139	Electro Sur Este	LED 70W	170	
VSAP 250W	192	Electro Dunas	LED 120W	189	Grupo Distriluz
VSAP 400W	269		LED 200W	270	

Nota. Adaptado de Osinergmin VAD 2018 y 2019

5.6.1 Evaluación económica de la inversión entre luminaria VSAP y LED.

Para determinar la inversión en luminarias con lámparas de VSAP y LED en el alumbrado público, de modo que cumplan las exigencias de la Norma Técnica de Alumbrado Público en Zonas de Concesión de Distribución, se considera el reemplazo al final de su vida útil de la respectiva tecnología, en la cual las luminarias tienen poco valor económico alternativo (valor comercial cero).

La vida útil de la lámpara de VSAP es aproximadamente: 15,000 horas, en tanto el de la luminaria LED es aproximadamente: 50,000 horas.

Al dividir dichas horas de vida útil entre las horas de uso anual en el país (4380 horas), se determina un tiempo promedio de vida útil de 4 y 12 años, respectivamente.

La inversión por luminarias de lámparas de VSAP y LED se presentan la Tabla 39 y Tabla 40:

Tabla 39.

Costo de inversión en luminarias de VSAP

INVERSION LAMPARAS DE VSAP					TOTAL (US \$)
50	70	150	250	400	
5,804,292.00	5,823,948.00	817,181.00	381,120.00	5,111.00	12,831,652.00

La inversión estimada de las lámparas convencionales de vapor de sodio es de US\$ 12'831,652.00.

Tabla 40.

Costo de inversión en luminarias LED

INVERSION LAMPARAS EQUIVALENTES LED					TOTAL (US \$)
50	70	150	250	400	
10,074,116.00	13,613,340.00	999,430.00	375,165.00	5,130.00	25,067,181.00

La inversión en lámparas equivalentes de tecnología LED es equivalente a US\$ 25'067,181.00

5.6.2 Evaluación económica.

El costo del servicio de alumbrado público incluye los costos de inversión el costo de consumo de energía de alumbrado público y de la operación y mantenimiento, para la respectiva evaluación.

Asimismo, la evaluación económica considera la tasa de interés del sector que es del 12% y un horizonte temporal de 12 años, en el que se ejecutan tres (3) y un (1) cambio de lámparas de VSAP y LED, respectivamente; la tarifa de alumbrado público considerada es el promedio de las tarifas de alumbrado público BT5C (204,44 USD/MWh) de la empresa concesionaria al mes de diciembre del año 2020.

Además, se considera el costo de operación y mantenimiento siguiendo los mismos índices del cálculo de Valor Agregado de Distribución aprobados por OSINERGMIN (Costo O&M VSAP 3,0% de la inversión)

El indicador de evaluación de la inversión y los gastos de la implementación de estas tecnologías será el Valor Actual de Costo (VAC), al presentar ambas alternativas en lo referente al alumbrado los mismos beneficios y considera la diferencia de vida útil respectiva en el horizonte de tiempo señalado. Los resultados se presentan líneas abajo.

5.6.3 Valor actual de costos (VAC).

Los resultados de construir los flujos actualizados (VAC), con la Fórmula 4, de los importes de inversión y costos señalados para la alternativa luminarias de

lámparas de vapor de sodio (VSAP), con la tasa de descuento y el horizonte de tiempo indicados se presentan en la siguiente en la Tabla 41.

Tabla 41.

Evaluación del valor actual de costos (VAC) luminarias VSAP

Año	Costo VSAP (US\$)	Costo Mantenimiento (US\$)	Costo de Energía AP (US\$/Año)	Costo Servicio AP (US\$)
0	12,831,652.00	-	-	12,831,652.00
1		384,949.56	8,670,587.33	9,055,536.89
2		384,949.56	8,670,587.33	9,055,536.89
3		384,949.56	8,670,587.33	9,055,536.89
4	12,831,652.00	384,949.56	8,670,587.33	21,887,188.89
5		384,949.56	8,670,587.33	9,055,536.89
6		384,949.56	8,670,587.33	9,055,536.89
7		384,949.56	8,670,587.33	9,055,536.89
8	12,831,652.00	384,949.56	8,670,587.33	21,887,188.89
9		384,949.56	8,670,587.33	9,055,536.89
10		384,949.56	8,670,587.33	9,055,536.89
11		384,949.56	8,670,587.33	9,055,536.89
12		384,949.56	8,670,587.33	9,055,536.89
VAC	26,168,887.85	2,384,521.63	53,708,862.69	82,262,272.18

Los resultados de construir los flujos actualizados (VAC) de la inversión para la alternativa luminarias de lámparas equivalentes LED se presenta en la Tabla 42.

Tabla 42.

Evaluación del valor actual de costos (VAC) luminarias LED

Año	Costo LED (US\$)	Costo Mantenimiento (US\$)	Costo de Energía AP (US\$/Año)	Costo Servicio AP (US\$)
0	25,067,181.00	-	-	25,067,181.00
1		384,949.56	4,969,521.74	5,354,471.30
2		384,949.56	4,969,521.74	5,354,471.30
3		384,949.56	4,969,521.74	5,354,471.30
4		384,949.56	4,969,521.74	5,354,471.30
5		384,949.56	4,969,521.74	5,354,471.30
6		384,949.56	4,969,521.74	5,354,471.30
7		384,949.56	4,969,521.74	5,354,471.30
8		384,949.56	4,969,521.74	5,354,471.30
9		384,949.56	4,969,521.74	5,354,471.30
10		384,949.56	4,969,521.74	5,354,471.30
11		384,949.56	4,969,521.74	5,354,471.30
12		384,949.56	4,969,521.74	5,354,471.30
VAC	25,067,181.00	2,384,521.63	30,783,077.39	58,234,780.03

En la Tabla 43, se presenta el resumen el valor del VAC:

Tabla 43.

Valor actual de costos (VAC) de VSAP y LED

Tecnología	Costo VSAP (US\$)	Costo Mantenimiento (US\$)	Costo de Energía AP (US\$/Año)	Total (US\$)
VSAP	26,168,887.85	2,384,521.63	53,708,862.69	82,262,272.18
LED	25,067,181.00	2,384,521.63	30,783,077.39	58,234,780.03

La alternativa más económica es la inversión que corresponde a la innovación tecnológica de sustitución de lámparas equivalentes de tecnología LED, debido a que posee un menor valor VAC.

5.6.4 Valor actual neto (VAN).

El valor actual neto (VAN) se calculará relacionando los flujos de la inversión, los costos asociados y los ahorros generados, para el horizonte de evaluación y la tasa de oportunidad calculada (WACC) para los sectores supervisados y regulados por Osinergmin, siendo este valor para la Industria Eléctrica de 8.7%. En la tabla 44, se presenta los factores de evaluación del VAN:

Tabla 44.

Factores de evaluación del VAN

Inversión LED (US\$)	Flujo de Caja (US\$)	Tasa de descuento (WACC)	Vida Útil (años)
-25,067,181.00	3,701,065.59	8.7%	12

Aplicando la Formula N.º 3, el VAN calculado resulta un valor de US\$ 1'455,469.07

5.6.5 Periodo de retorno

El periodo de retorno, permite determinar el periodo en el que se va a recuperar la inversión sin considerar el valor de dinero en el tiempo, los resultados se presentan en Tabla 45:

Tabla 45.

Evaluación del periodo de retorno

Año	Inversión LED	Flujo de Caja	Flujo Neto
0	-25,452,130.56		-25,452,130.56
1		3,701,065.59	-21,366,115.41
2		3,701,065.59	-17,665,049.82
3		3,701,065.59	-14,348,933.79
4		3,701,065.59	-10,262,918.64
5		3,701,065.59	-6,561,853.05
6		3,701,065.59	-2,860,787.46
7		3,701,065.59	840,278.13
8		3,701,065.59	4,541,343.72
9		3,701,065.59	8,242,409.31

El periodo de retorno es de 7 años 2 meses y 21 días.

5.6.6 Tasa interna de retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno (TIR), que relaciona la rentabilidad de los ingresos y pagos actualizados producidos por la inversión inicial, representa en porcentaje la viabilidad de la inversión. Este enfoque para evaluar la viabilidad económica de un proyecto está estrechamente relacionado con el Valor Actual Neto (VAN), esta tasa se obtiene al igualar el VAN igual cero, conforme la ecuación N° 5.

El valor obtenido de la TIR es de 9.81% mayor a la tasa de descuento o coste de oportunidad considerada de 8.7%. Además, la tasa determinada está dentro del +/- 4% de la tasa de actualización establecida (12%), según el artículo 71 de la Ley de Concesiones Eléctricas.

5.6.7 Resultado de los indicadores de evaluación.

En la Tabla 46, se presenta el resumen de los resultados de los indicadores de evaluación económica:

Tabla 46.

Resultados de los indicadores económicos

Método de evaluación	Indicador
Periodo de retorno	7.12 años
VAN	1'455,469.07 US\$
TIR	9.81%

Los indicadores obtenidos son favorables y permitirán tomar decisiones respecto a la implementación del proyecto.

5.6.8 Evaluación de la sustitución de luminarias de VSAP por LED en la reducción de emisiones GEI.

El sistema de alumbrado público utiliza energía eléctrica, y el avance tecnológico que supondría pasar de las lámparas VSAP a las LED que aumentaría la eficiencia energética, supondría un ahorro de energía y reduciría las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

a) Cálculo de las emisiones de CO₂

El cálculo de las emisiones de CO₂ se realiza considerando el consumo anual (kWh) de lámparas con luminarias de VSAP y el consumo con sustitución de lámparas de Luminarias LED.

Asimismo, se considerando el factor de emisión del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) igual a 0.4521 kg de CO₂ eq/kW.h.

Reemplazando valores a la ecuación (6), pág. 55 y efectuando operaciones se tiene los resultados que se presentan en la Tabla 47:

Tabla 47.

Cálculo de emisiones de CO₂

Tecnología	KW.h(Año)	Factor de emisión (Kg CO ₂ /kW.h)	Emisiones (TON.CO ₂ /año)	Diferencia (TON.CO ₂ /año)	%
VSAP	42,411,653.88	0.4521	19,174.31	8,184.61	43%
LED	24,308,115.24	0.4521	10,989.70		
Diferencia	18,103,538.64	0.4521	8,184.61	8,184.61	

La reducción de emisiones de CO₂ es de 8,184.61 TON. CO₂/año y equivale al 43% de las emisiones actuales.

5.6.9 Precio social de la reducción de emisiones de CO₂

La valorización de la reducción de emisiones de CO₂ puede incorporarse en la evaluación económica del proyecto, debido a que, conforme se ha señalado, la innovación tecnológica de sustitución de lámparas de vapor de sodio de alta presión por LED, corresponden a proyectos de eficiencia energética.

El precio social de carbono CO₂ es de 7.17 US\$/ por TON de CO₂ (Ministerio de Economía y Finanzas [MEM],2021). En la Tabla 48, se presenta la valorización de la reducción de emisiones de CO₂:

Tabla 48.

Valorización de reducciones de emisiones de CO₂

Situación	Reducción de emisiones (TON.CO2/año)	Precio social de carbono (US\$/TON.CO2-año)	Beneficio anual por emisiones de GEI evitadas (US\$/año)
Cambio tecnológico LED	8,184.61	7.17	58,683.65

CAPÍTULO VI: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Resultados de la investigación

En el presente estudio se determinó que la empresa de distribución eléctrica brinda el servicio de alumbrado público con instalaciones de alumbrado público conformadas por 151,382 luminarias con una potencia instalada de 11.25 MW; 126,958 unidades corresponden a la tecnología de VSAP con una potencia equivalente a 9.68 MW, siendo esta la tecnología que prevalece en dicho servicio y constituye un potencial de reemplazo por lámparas más eficientes como las de la tecnología LED.

Para establecer los lúmenes equivalentes entre lámparas de luminarias de VSAP y su equivalente LED, se utilizó la relación S/P (relación para un determinado espectro entre su luminancia escotópica y su luminancia fotópica) de estas fuentes de Luz, establecidas en la CIE TC1-58 Rendimiento visual en el rango. Las equivalencias de Luminarias LED, por la mayor luminancia, mantienen o mejoran los niveles iluminación de las luminarias de vapor de sodio instaladas, además al emitir una luz blanca proporciona mayor confort para los usuarios. En la Tabla 49, se presenta las equivalencias entre las lámparas VSAP y LED:

Tabla 49.

Equivalencias entre lámparas de VSAP y LED

LAMPARA	EQUIVALENCIAS (W/Lúmenes Equivalentes)				
VSAP	50	70	150	250	400
Lúmenes Equivalentes	3575	4225	11050	21450	35750
LED	38	45	70	120	200
Lúmenes Equivalentes	8665	12578	18600	34000	61275

La potencia con luminaria de las lámparas de VSAP es igual a 9.68 MW y la con la propuesta del cambio tecnológico con lámparas equivalentes LED es de 5.55 MW, observándose o una disminución de demanda del 43% con la referida innovación tecnológica del alumbrado público.

En el factor KALP determinado por sector típico con la tecnología LED se observa una reducción entre el 35% y 91%.

En la Tabla 50, se presenta el factor KALP por sector típico con la tecnología de VSAP y LED y los porcentaje de variación:

Tabla 50.

Factores KALP por sector típico

Descripción	FACTORES KALP (Kw.h/mes)			
	ST2	ST3	ST4	SER
Factor KALP Actual	11	11	7.4	4.7
Factor KALP LED	7.1	7.1	2.6	0.4
% Reducción KALP	35%	35%	65%	91%

Conforme lo señalado, al evaluar el porcentaje máximo de facturación por el servicio de alumbrado público (PALP) el valor promedio obtenido con la tecnología convencional o VSAP es de 2.94% y el valor de la propuesta tecnológica de sustitución de lámparas LED es 1.76%, constituyendo una reducción del 41%. En el caso específico de la empresa de distribución eléctrica, con el valor PALP aplicado a la facturación total se obtiene una facturación máxima de alumbrado público.

Respecto al valor de la alícuota o importe mínimo del servicio de alumbrado público determinado con la tecnología convencional de VSAP en el año 2020 fue de 0.66 y el calculado con la innovación del alumbrado con lámparas de la tecnología LED es de 0.41, observándose una reducción del 39%.

La reducción de los factores señalados, contribuyen a obtener una menor facturación por el servicio de alumbrado público.

En ese sentido, de la comparación de la facturación del alumbrado público realizada en el año 2020 con luminarias convencionales de VSAP y la obtenida bajo el escenario de la innovación del alumbrado público con luminarias LED, se observa una disminución del importe de S/. 30 918 977,10 a S/. 18 926 061,66 que significa una reducción porcentual del 39%.

Por tanto, la innovación tecnológica con luminarias LED influye en la reducción de la facturación y de la alícuota del servicio de alumbrado público respecto a las luminarias convencionales de VSAP en una empresa de distribución de energía eléctrica del sur del Perú.

En relación al potencial de ahorro energético y la reducción de emisiones se observa una reducción del 43% al año, siendo la cantidad de CO₂ dejada de emitir al año equivale a 8,184.61 TON.

Lo señalado contribuye a confirmar que la innovación tecnológica con luminarias LED del servicio de alumbrado público influye en la protección del medio ambiente (disminución de emisiones CO₂) respecto a luminarias convencionales de VSAP en una empresa de distribución de energía eléctrica del sur del Perú.

De la evaluación económica con la tasa de interés del sector que es del 12% y considerando un horizonte temporal de 12 años, en el que se ejecutan tres (3) y un (1) cambios de lámparas de VSAP y LED, respectivamente, además, considerando el costo de operación y mantenimiento y la tarifa promedio de alumbrado público BT5C (204,44 USD/MWh) de la empresa concesionaria al mes de diciembre del año 2020; el valor del indicador Valor Actual de Costo (VAC) de evaluación de la inversión de la implementación de esta tecnología, se observa que alternativa más económica, al tener un valor menor VAC, corresponde a la innovación tecnológica de sustitución de luminarias LED, conforme se presenta en la Tabla 51:

Tabla 51.

Valor actual de costos entre luminarias VSAP y LED

Tecnología	Costo VSAP (US\$)	Costo Mantenimiento (US\$)	Costo de Energía AP (US\$/Año)	Total (US\$)
VSAP	26,168,887.85	2,384,521.63	53,708,862.69	82,262,272.18
LED	25,067,181.00	2,384,521.63	30,783,077.39	58,234,780.03

El VAN calculado es US\$ 1'455,469.07 y al presentar un valor superior a cero, la propuesta de sustitución de luminarias de VSAP por luminarias equivalentes de tecnología LED es viable económicamente.

Asimismo, el valor obtenido de la TIR es de 9.81% mayor a la tasa de descuento o coste de oportunidad considerada de 8.7%. Además, la tasa determinada está dentro del +/- 4% de la tasa de actualización establecida (12%); por tanto, el proyecto es rentable.

Por lo señalado en los párrafos previos, la innovación tecnológica del servicio de alumbrado público con luminarias LED es viable económicamente respecto a luminarias convencionales de VSAP en una empresa de distribución de energía eléctrica del sur del Perú.

6.2 Prueba de hipótesis

Una hipótesis en el contexto de la estadística inferencial es una proposición respecto de uno o varios parámetros, y lo que el investigador hace por medio de la prueba de hipótesis es determinar si la hipótesis poblacional es congruente con los datos obtenidos en la muestra (Hernández, Fernández & Batista, 2014)

a) Contrastación de Hipótesis

La contrastación de hipótesis se realiza con la prueba estadística t-student que es una prueba estadística para evaluar si dos grupos difieren entre sí de manera significativa respecto a sus medias en una variable.

Los grupos son la facturación del servicio de alumbrado público con luminarias LED y con luminarias convencionales de VSAP.

Se plantea la hipótesis nula (H_0), siendo el objetivo rechazar la H_0 , lo cual permite validar la hipótesis formulada.

$H_1: \mu_d = > 0$

El análisis del uso de luminarias LED respecto a los de vapor de sodio de alta presión - VSAP permite la reducción de costos del servicio de alumbrado público en una empresa de distribución de energía eléctrica del sur del Perú.

Ho: $\mu d = \leq 0$

El análisis del uso de luminarias LED respecto a los de vapor de sodio de alta presión - VSAP **no** permite la reducción de costos del servicio de alumbrado público en una empresa de distribución de energía eléctrica del sur del Perú.

b) Estadístico de prueba.

La prueba estadística a utilizar será el test t-student

$$t = \frac{d}{Sd/\sqrt{n}} \quad (8)$$

Donde:

t: Estadístico de prueba

d: promedio de diferencias

Sd: desviación estándar de las diferencias

El estadístico de prueba t sigue una distribución con n-1 grados de libertad

Se rechaza la hipótesis nula (Ho) si:

$$t > t_{(1-\frac{\alpha}{2})(n-1)} \text{ (Bilateral)}$$

$$t > t_{(1-\alpha)(n-1)} \text{ (Unilateral derecha)}$$

$$t < t_{(\alpha)(n-1)} \text{ (Unilateral izquierdo)}$$

Asimismo:

Si el Pvalor es más pequeño que 0.05 se rechaza la hipótesis nula (Ho)

Si el Pvalor es más grande que 0.05 no se rechaza la hipótesis nula (Ho)

En la tabla 52, se presenta la facturación comparada del alumbrado público del 2020

Tabla 52.

Comparación facturación alumbrado público año 2020

Mes/año	Facturación AP con luminaria convencional VSAP	Facturación AP con Luminaria LED	d
Enero-2020	2,434,215.30	1,306,871.51	1,127,343.79
Febrero-2020	2,348,682.20	1,333,142.80	1,015,539.40
Marzo-2020	2,341,845.40	1,392,367.85	949,477.55
Abril-2020	2,337,205.00	1,086,411.67	1,250,793.33
Mayo-2020	2,265,055.60	1,454,504.27	810,551.33
Junio-2020	2,354,382.50	1,639,935.94	714,446.56
Julio-2020	2,782,728.30	1,779,432.35	1,003,295.95
Agosto-2020	2,773,494.30	1,851,820.24	921,674.06
Setiembre-2020	2,897,624.10	1,788,679.09	1,108,945.01
Octubre-2020	2,751,190.00	1,772,783.94	978,406.06
Noviembre-2020	2,953,141.30	1,762,145.68	1,190,995.62
Diciembre-2020	2,679,413.10	1,757,966.33	921,446.77
Total	30,918,977.10	18,926,061.66	11,992,915.44

De la tabla 47, se tiene:

$d = 999,409.62$; $n = 12$; grado de libertad $(n-1) = 11$; $\alpha=0.05$

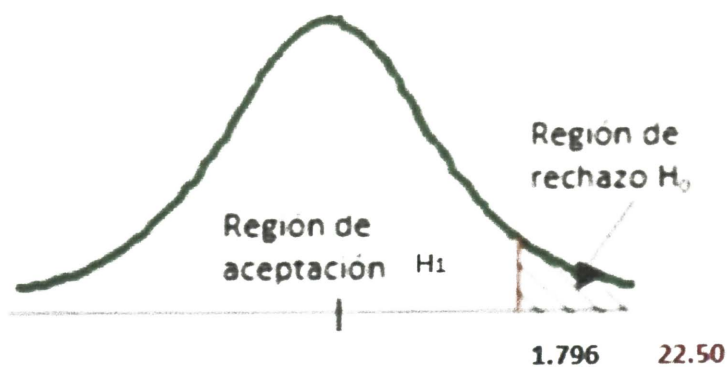
Entonces $Sd = 153\,878,99 \rightarrow t = 22.50$

Valor crítico $t > t(1-\alpha)(n-1) = 1.79588481870404$;

En la Figura 12, se presenta los resultados del valor crítico t y estadística t:

Figura 12.

Resultados de valor crítico t y estadístico t



$P\text{valor} = 7.53194089248775E-11$

Decisión:

Como $t=22.5 > 1.79$ (valor crítico); entonces, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis (H_1); o,

Como $7.53194089248775E-11 < 0.05$, se acepta la hipótesis (H_1) y se rechaza la hipótesis nula (H_0).

Prueba t

Tabla 53.

Parámetros de prueba de hipótesis mediante Excel:

	<i>Facturación AP con luminaria convencional</i>	<i>Facturación AP con luminaria LED</i>
Media	2576581.425	1577171.805
Varianza	63475309762	62985418711
Observaciones	12	12
Coeficiente de correlación de Pearson	0.812764229	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	11	
Estadístico t	22.4985653	
P(T<=t) una cola	7.53194E-11	
Valor crítico de t (una cola)	1.795884819	
P(T<=t) dos colas	1.50639E-10	
Valor crítico de t (dos colas)	2.20098516	

CONCLUSIONES

- El objetivo de la investigación estableció que el uso de luminarias LED respecto a los de vapor de sodio de alta presión - VSAP permitirá la reducción de costos del servicio de alumbrado público en una empresa de distribución de energía eléctrica del sur del Perú, el mismo se ha corroborado con el contraste de hipótesis mediante el estadístico t-student, con cuyo resultado se rechazó la hipótesis nula (H_0) y aceptó la hipótesis alternativa (H_1) que es lo se quería demostrar.
- El cambio tecnológico del servicio de AP de VSAP a LED en la empresa, reduce la demanda de 9,68 MW a 5,55 MW, equivalente al 45%.
- En el periodo de estudio, el valor promedio del (PALP) con la tecnología convencional de VSAP es 2.94% y con la implementación tecnológica LED es 1.76% que implica una reducción del 40%.
- Con los PALP respectivos la facturación del servicio de alumbrado público con lámparas VSAP equivale a S/. 30 918 977,10, mientras que con la tecnología LED equivale a S/. 18 926 061,66, observándose una reducción del 39%.
- El valor promedio de la alícuota disminuye de 0.66 a 0.40, reduciéndose en 40%.
- Se confirma que la innovación tecnológica del alumbrado público con luminarias LED respecto a VSAP influyen en la reducción de costos de la facturación de dicho servicio.
- El ahorro energético anual de la implementación tecnológica LED es: 18 103 538,64 kWh y evitaría emisiones de 8 184.61 TON de CO₂/año que representa un 43%.
- En consecuencia, la innovación tecnológica del alumbrado público con luminarias LED respecto a luminarias convencionales de VSAP influye en la protección del medio ambiente
- De la evaluación económica, considerando costos respectivos de inversión en luminarias, costos de consumo de energía y O&M, el valor actual de costos (VAC) o valor presente más económico resulta de la alternativa de la innovación tecnológica de AP con luminarias LED: (\$ 58 234 780,03), respecto a la convencional de VSAP (\$ 82 262 272,18).

- El VAN calculado de la implementación por tecnología LED resulta positivo (US\$ 1 455 469,07)
- El valor obtenido de la TIR de la implementación tecnológica LED resulta 9,81% mayor al (8,7%) del sector eléctrico, establecido en el documento de trabajo 37 (Osinergmin); por tanto, es rentable.
- La innovación tecnológica del AP con luminarias LED es viable económicamente que con luminarias convencionales de VSAP.
- En ese sentido, la innovación tecnológica del alumbrado público con luminarias LED es viable económicamente que con luminarias convencionales de VSAP.

RECOMENDACIONES

- Sería conveniente la implantación de la tecnología LED en el alumbrado público, por las empresas de distribución de energía eléctrica, por el ahorro de dicho servicio de aproximadamente del 40% respecto del uso de lámparas de VSAP.
- La evaluación económica, de la innovación tecnológica, debe calcularse con la tasa de descuento del sector eléctrico que considera los aspectos financieros actuales del país, determinados en el documento de trabajo 37 y concordantes con los Art. 71 y 79 de la LCE.
- Considerar la tasa de descuento del sector eléctrico para la evaluación económica que es (8.7%), según Osinergmin (Documento de trabajo 37).
- Actualizar el factor KALP de determinación del monto total máximo del semestre móvil por el servicio de alumbrado público (Σ FALP), por empresa concesionaria y respectivo sector típico.
- La evaluación económica de la innovación tecnológica del AP, se calcule con la tasa de descuento del sector eléctrico (8.7%), determinados en el documento de trabajo 37 de Osinergmin, concordantes con los Art. 71 y 79 de la Ley de Concesiones Eléctricas.
- Incentivar económicamente las valorizaciones de las emisiones evitadas de CO2 con la innovación tecnología LED del AP, que contribuyen a la protección del medio ambiente.
- Actualizar el factor KALP (kWh-mes)/usuario, por empresa concesionaria y respectivo sector típico de distribución.

OBSERVACIONES

- La sustitución de luminarias de VSAP por LEDs contribuirá a reducir los costos de facturación del servicio de alumbrado público, así mismo el industrial y el domiciliario.
- En el presente caso, la sustitución de lámparas de VSAP por los de LED permitirá evitar la producción equivalente de GEI 8 184,61 TON, la cual contribuirá a cumplir con frenar el calentamiento global, el Protocolo de Kioto, acuerdo internacional de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, pretende reducir las emisiones de los seis principales gases de efecto invernadero: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarburos (HFC), perfluorocarburos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆).
- En la Tabla 4 de la Norma Técnica DGE “Alumbrado de Vías Públicas en Zonas de Concesión de Distribución” RM N.º 013-2003-EM/DM, no se establecen o hacen referencias a distancias entre luminarias.
- El dispositivo que controla el encendido y apagado del circuito de alumbrado público en las subestaciones de distribución es la fotocélula o el interruptor horario, este último puede operar incluso fuera del nivel promedio de iluminación natural establecido en el numeral 5.1 el título quinto de la Norma RM N° 013-2003-EM/DM.
- Resolución Ministerial N.º -015- 2020-DM (que modificó con la 415- 2018-DM), que aprueba cuatro (04) Fichas de Homologación para Luminarias LED de alumbrado público, no hace referencia sobre Fichas de Homologación para Luminarias LED para tipo de vía IV y V.

TRABAJOS FUTUROS

- Analizar la telegestión de la red de alumbrado público por LED.
- Analizar la telegestión del alumbrado la red de alumbrado industrial por LED.
- Efectuar estudios para consensuar factores intervinientes en la facturación del alumbrado público a nivel nacional.
- Análisis de sensibilidad de sistemas de medición inteligente para alumbrado público por LED.
- Analizar la implementación de la medición inteligente del consumo de energía de usuarios (residencial e industrial).
- Analizar la implementación de la medición horaria consumo de energía de usuarios residenciales.
- Análisis de sensibilidad de sistemas de medición inteligente para alumbrado industrial por LED.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2022. Emisiones de dióxido de carbono. <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/emisiones-de-dioxido-de-carbono>
- Análisis de las instalaciones de alumbrado, (s.f). https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/IEI/IEI03/es IEA IEI03 Contenidos/website_1 la emisin de luz.html
- Aspectos fundamentales de la Tecnología LED en alumbrado exterior, (2017) <https://www.eseficiencia.es/2017/05/19/aspectos-fundamentales-tecnologia-led-alumbrado-exterior>
- Características de las fuentes de Luz, s.f. https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/IEI/IEI03/es IEA IEI03 Contenidos/website_11 caractersticas de las fuentes de luz.html
- Decología.info. (s.f.). Alumbrado Público, Beneficios, Importancia, Tipos, Ventajas, Desventajas. <https://decologia.info/medio-ambiente/alumbrado-publico/#beneficios-del-alumbrado-publico>
- Diaz R. Carlos (2016). Análisis de la rentabilidad de la implementación de un edificio inteligente y ambientalmente sostenible sobre una red IP convergente. <https://www.proquest.com/docview/2434074311>
- ELDIA, 2019. El primer alumbrado eléctrico público en Sudamérica <https://www.eldia.com/nota/2019-6-26-3-42-16-el-primer-alumbrado-electrico-publico-en-sudamerica-la-ciudad>
- Emerson, (2018). Métodos para comparar la iluminación visual entre luminarias de descarga de alta intensidad (HID) y de diodos fotoemisores (LED) con el fin de optimizar el rendimiento visual en entornos de iluminación débil <https://www.emerson.com/documents/automation/papel-blanco-m%E9todos-para-comparar-la-iluminaci%F3n-visual-entre-luminarias-de-descarga-de-alta-intensidad-hid-y-de-diodos-fotoemisores-led-con-el-fin-de-optimizar-el-rendimiento-visual-en-entornos-de-iluminaci%F3n-d%E9bil-es-5359352.pdf>
- El Peruano. (2018). *R.M. N° 415-2018-MEM/DM.- Aprueban cuatro fichas de Homologación para Luminarias LED de alumbrado público*

- El Peruano. (2009). *R.M. N° 074-2009-MEM/DM. Establecen disposiciones aplicables para el cálculo del porcentaje máximo de facturación por el servicio de alumbrado público.*
- El Peruano. (2017), *DS-09-2017-EM Reglamento Técnico sobre el etiquetado de eficiencia energética para equipos energéticos.*
- El Peruano. (2020), *Resolución Ministerial N° 015-2020-MINEM/DM Aprueban modificación de cuatro Fichas de Homologación para Luminarias LED de alumbrado público aprobadas mediante R.M. N° 415-2018-MEM/DM*
- Gerencia de regulación de tarifas, 2021, procesamiento y análisis de la información comercial – años 2020 y 2021
<https://www2.osinergmin.gob.pe/publicacionesgrt/pdf/InfoComercial/IC2020T4.pdf>
- Genover Z. Iván (2015). Eficiencia energética en el servicio de alumbrado público del Ecuador.
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/22351/3/tesis.pdf.txt>
- González G. Jorge (2018). Estudio de implantación de tecnología Led en el alumbrado público exterior de La Robleda, puente San Miguel (Cantabria).
<https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/15625/JGG.pdf?isAllowed=y&sequence=1>
- Hernández Sampieri F, Fernández Collado, C & Batista Lucio, P (2014) Metodología de la Investigación. Ed. Mac Graw Hill. Sexta Edición. México D.F.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (2018). Requerimientos técnicos exigibles para luminarias con tecnología LED de alumbrado exterior (archivo pdf).
https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/idae/tecnologias/ahorro_y_eficiencia_energetica/alumbrado_exterior/requerimientos_tecnicos_exigibles_alumbrado_exterior_dic-2020.pdf
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (2018). Requerimientos técnicos exigibles para luminarias con tecnología LED de alumbrado exterior (archivo pdf),
https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/idae/tecnologias/ahorro_y_eficiencia_energetica/alumbrado_exterior/requerimientos_tecnicos_exigibles_alumbrado_exterior_dic-2020.pdf
- Jesica Irvine (2018), Luces de sodio alta presión vs LED,
<https://www.actionservicesgroup.com/blog/high-pressure-sodium-lights-vs-led/>
- Kanlight, 2021. La evolución histórica del alumbrado público.
<https://kanlight.com/the-historical-evolution-of-public-lighting/>

- Luque P. Gino (2018). Análisis del ahorro y beneficios producidos con el reemplazo a luminarias led en las principales calles de Moquegua 2018. <http://repositorio.ujcm.edu.pe/handle/20.500.12819/952>
- Mayta M. Wilson (2018). Análisis y comparación del consumo de energía eléctrica por alumbrado público utilizando luminarias tipo LED y luminarias convencionales, en la empresa de distribución eléctrica Electro Puno S.A.A. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/13122/Corahua_Rivas_Omar_Antony.pdf?isAllowed=y&sequence=3
- Ministerio de Desarrollo Social Gobierno de Chile – División de Evaluación Social de Inversiones, 2014. Metodología para la Formulación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos de Reemplazo de Alumbrado en la Vía Pública. <http://sni.gob.cl/storage/docs/13-Metodologi%CC%81a-Reemplazo-Alumbrado-Pub-2014.pdf>
- Ministerio de Economía y Finanzas, (2021). Nota técnica para el uso del precio social del carbono en la evaluación social de proyectos de inversión, https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/Metodologias_Generales_P1/2_Nota_tecnica_uso_del_precio_social_del_carbono_2021.pdf
- Ministerio de Energía y Minas. (2003). *RM.013.2003.EM.DM Norma Técnica DGE “Alumbrado de Vías Públicas en Zonas de Concesión de Distribución”*
- Ministerio de Energía y Minas (1992). *Decreto Ley N° 25844 Ley de Concesiones Eléctricas.*
- Ministerio de Energía y Minas (1993). *Decreto Supremo N° 009-93-EM Ley de Concesiones Eléctricas.*
- Ministerio de Energía y Minas (2000). *Ley N° 27345 de Promoción del Uso Eficiente de la Energía.*
- Ministerio de Energía y Minas (2017). *Resolución Directoral N.º 0292-2017-MEM/DGE Establecen Sectores de Distribución Típicos para efecto de las fijaciones del Valor Agregado de Distribución de los años 2018 y 2019.*
- Monje, C. (2011). *Metodología de la Investigación Cuantitativa y Cualitativa. Guía Didáctica.* Nieva, Colombia: Universidad Sur Colombiana.
- Narváez M. Paolo (2020). Análisis técnico, económico para determinar la viabilidad de reemplazar todas las luminarias de sodio utilizadas en el sistema de alumbrado público general en el área urbana de la ciudad de Cuenca por luminarias de

tecnología LED. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18818/1/UPS-CT008787.pdf>

OSINERGMIN (2017), en el documento 37. El Costo Promedio Ponderado del Capital (WACC).

https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Documentos_de_Trabajo/Documento-Trabajo-37.pdf

Quispe, E. (2011). Tejedores de Luz 1886/2007. <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/institucional/publicaciones/biblioteca/tejedores/capitulo1.pdf>

Pérez-Fernández, C.A., García-Reynoso, D.N., & Peña Mireles E. (2018). Propuesta de diseño para realizar la implementación de un sistema fotovoltaico en fraccionamiento residencial.

<https://tesis.ipn.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/27860/Tesina%2027%20Jnio%20Final.pdf?isAllowed=y&sequence=1>

Ramos, M. (2017) Estado del arte del alumbrado público en España (archivo pdf).

https://smart-lighting.es/wp-content/uploads/2017/02/alumbrado_publico_en_espana.pdf

Sheyla Olmedo Castillo, (2019). conceptos básicos de alumbrado público e iluminación exterior. <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-laica-eloy-alfaro-de-manabi/disenio-de-proyectos-electricos/conceptos-basicos-alumbrado-publico-e-iluminacion-exterior/11763190>

Santos Giancarlo, 2021. Telegestión del alumbrado público (pdf) <https://www.procetradi.com/blog/beneficios-aplicaciones-telegestion-alumbrado-publico/>

Wout van Bommel, 2009. El espectro de las fuentes de luz y bajos niveles de iluminación: fundamentos.

<https://www.ceisp.com/fileadmin/pdf/Comunicaciones/Vision%20Mesopica%202009.pdf>

ANEXOS

**Anexo N°1: Porcentaje Máximo de Facturación por el Servicio de AP
(PALP) año 2020 con luminarias VSAP**

MONTO TOTAL MAXIMO DEL SEMESTRE MOVIL (FALP)					
Ene-20	Feb-20	Mar-20	Abr-20	May-20	Jun-20
Jul'19a Dic'19	Ago'19 a Ene'20	Sep'19a Feb'20	Oct'19 a Mar'20	Nov'19 a Abr'20	Dic'19 a May'20
16,676,727.20	17,023,682.15	17,365,411.49	17,649,832.55	17,688,681.89	17,733,265.36

MONTO FACTURADO TOTAL DEL SEMESTRE MOVIL (FTOT)					
Ene-20	Feb-20	Mar-20	Abr-20	May-20	Jun-20
Jul'19a Dic'19	Ago'19 a Ene'20	Sep'19a Feb'20	Oct'19 a Mar'20	Nov'19 a Abr'20	Dic'19 a May'20
625,770,220.40	620,910,177.47	617,470,181.04	591,673,269.47	580,393,407.51	574,553,527.66

PORCENTAJE MAXIMO DE FACTURACION POR EL SERVICIO DE ALUMBRADO PUBLICO (PALP)					
Ene-20	Feb-20	Mar-20	Abr-20	May-20	Jun-20
2.66%	2.74%	2.81%	2.98%	3.05%	3.09%

MONTO TOTAL MAXIMO DEL SEMESTRE MOVIL (FALP)					
Jul-20	Ago-20	Set-20	Oct-20	Nov-20	Dic-20
Ene'20a Jun'20	Feb'20 a Jul'20	Mar'20a Ago'20	Abr'20 a Sep'20	May'20 a Oct'20	Jun'20 a Nov'20
17,854,483.31	18,035,788.56	18,229,546.65	18,444,960.27	18,739,868.95	19,349,007.32

MONTO FACTURADO TOTAL DEL SEMESTRE MOVIL (FTOT)					
Jul-20	Ago-20	Set-20	Oct-20	Nov-20	Dic-20
Ene'20a Jun'20	Feb'20 a Jul'20	Mar'20a Ago'20	Abr'20 a Sep'20	May'20 a Oct'20	Jun'20 a Nov'20
568,921,344	589,290,956	598,267,484	628,536,521	648,696,317	662,641,890

PORCENTAJE MAXIMO DE FACTURACION POR EL SERVICIO DE ALUMBRADO PUBLICO (PALP)					
Jul-20	Ago-20	Set-20	Oct-20	Nov-20	Dic-20
3.14%	3.06%	3.05%	2.93%	2.89%	2.92%

**Anexo N°2: Porcentaje Máximo de Facturación por el Servicio de AP
(PALP) semestre 2020-II con luminarias LED**

MONTO FACTURADO TOTAL DEL SEMESTRE MOVIL (FTOT)					
Jul-20	Ago-20	Set-20	Oct-20	Nov-20	Dic-20
Ene'20a Jun'20	Feb'20 a Jul'20	Mar'20a Ago'20	Abr'20 a Sep'20	May'20 a Oct'20	Jun'20 a Nov'20
574,553,528	568,921,344	589,290,956	598,267,484	628,536,521	648,696,317

MONTO TOTAL MAXIMO DEL SEMESTRE MOVIL (FALP)					
Jul-20	Ago-20	Set-20	Oct-20	Nov-20	Dic-20
Ene'20a Jun'20	Feb'20 a Jul'20	Mar'20a Ago'20	Abr'20 a Sep'20	May'20 a Oct'20	Jun'20 a Nov'20
10,649,845.13	10,718,085.64	10,823,006.72	10,933,840.84	11,057,230.67	11,228,817.64

PORCENTAJE MAXIMO DE FACTURACION POR EL SERVICIO DE ALUMBRADO PUBLICO (PALP)					
Jul-20	Ago-20	Set-20	Oct-20	Nov-20	Dic-20
1.85%	1.88%	1.84%	1.83%	1.76%	1.73%

**Anexo N°3: Porcentaje Máximo de Facturación por el Servicio de AP
(PALP) semestre 2020-I con luminarias LED**

MONTO FACTURADO TOTAL DEL SEMESTRE MOVIL (FTOT)					
Ene-20	Feb-20	Mar-20	Abr-20	May-20	Jun-20
Jul'19a Dic'19	Ago'19 a Ene'20	Sep'19a Feb'20	Oct'19 a Mar'20	Nov'19 a Abr'20	Dic'19 a May'20
626,288,605	625,770,220	620,910,177	617,470,181	591,673,269	580,393,408

MONTO TOTAL MAXIMO DEL SEMESTRE MOVIL (FALP)					
Ene-20	Feb-20	Mar-20	Abr-20	May-20	Jun-20
Jul'19a Dic'19	Ago'19 a Ene'20	Sep'19a Feb'20	Oct'19 a Mar'20	Nov'19 a Abr'20	Dic'19 a May'20
8,952,082.26	9,367,572.53	9,790,209.06	10,211,896.63	10,603,751.59	10,625,606.65

PORCENTAJE MAXIMO DE FACTURACION POR EL SERVICIO DE ALUMBRADO PUBLICO (PALP)					
Ene-20	Feb-20	Mar-20	Abr-20	May-20	Jun-20
1.43%	1.50%	1.58%	1.65%	1.79%	1.83%

Anexo N° 4: Parque de A.P. Empresa Concesionaria

Precio Medio (S/. por KWh) de Servicio de Alumbrado Público [PMAP] - Osinergmin

Sistema Eléctrico	Ene-20	Feb-20	Mar-20	Abr-20	May-20	Jun-20
	0.7018	0.6960	0.6953	0.6953	0.6953	0.7005
	0.6958	0.6900	0.6893	0.6893	0.6893	0.6943
	0.6958	0.6900	0.6893	0.6893	0.6893	0.6943
	0.7012	0.6954	0.6947	0.6947	0.6947	0.6998
	0.6968	0.6911	0.6904	0.6904	0.6904	0.6954
	0.7044	0.6987	0.6980	0.6980	0.6980	0.7032
	0.6968	0.6911	0.6904	0.6904	0.6904	0.6954
	0.6912	0.6854	0.6847	0.6847	0.6847	0.6896
	0.7066	0.7008	0.7001	0.7001	0.7001	0.7053
	0.7012	0.6954	0.6947	0.6947	0.6947	0.6998
	0.7012	0.6954	0.6947	0.6947	0.6947	0.6998
	0.6968	0.6911	0.6904	0.6904	0.6904	0.6954
	0.7018	0.6960	0.6953	0.6953	0.6953	0.7005
	0.7044	0.6987	0.6980	0.6980	0.6980	0.7032
	0.7044	0.6987	0.6980	0.6980	0.6980	0.7032
	0.6958	0.6900	0.6893	0.6893	0.6893	0.6943
	0.6968	0.6911	0.6904	0.6904	0.6904	0.6954
	0.7012	0.6954	0.6947	0.6947	0.6947	0.6998
	0.7044	0.6987	0.6980	0.6980	0.6980	0.7032
	0.7012	0.6954	0.6947	0.6947	0.6947	0.6998
	0.7012	0.6954	0.6947	0.6947	0.6947	0.6998
	0.7012	0.6954	0.6947	0.6947	0.6947	0.6998
	0.7018	0.6960	0.6953	0.6953	0.6953	0.7005
	0.7066	0.7008	0.7001	0.7001	0.7001	0.7053
	0.6968	0.6911	0.6904	0.6904	0.6904	0.6954
	0.6958	0.6900	0.6893	0.6893	0.6893	0.6943
	0.7044	0.6987	0.6980	0.6980	0.6980	0.7032
	0.6912	0.6854	0.6847	0.6847	0.6847	0.6896

Precio Medio (S/. por KWh) de Servicio de Alumbrado Público [PMAP] - Osinergmin

Sistema Eléctrico	Jul-20	Ago-20	Set-20	Oct-20	Nov-20	Dic-20
	0.7198	0.7260	0.7265	0.7288	0.7429	0.8167
	0.7136	0.7196	0.7201	0.7224	0.7365	0.8096
	0.7136	0.7196	0.7201	0.7224	0.7365	0.8096
	0.7191	0.7253	0.7258	0.7281	0.7422	0.8159
	0.7147	0.7317	0.7333	0.7356	0.7495	0.8239
	0.7226	0.7294	0.7299	0.7322	0.7462	0.8203
	0.7147	0.7317	0.7333	0.7356	0.7495	0.8239
	0.7088	0.7240	0.7255	0.7277	0.7417	0.8153
	0.7247	0.7326	0.7333	0.7356	0.7494	0.8238
	0.7191	0.7253	0.7258	0.7281	0.7422	0.8159
	0.7191	0.7253	0.7258	0.7281	0.7422	0.8159
	0.7147	0.7317	0.7333	0.7356	0.7495	0.8239
	0.7198	0.7260	0.7265	0.7288	0.7429	0.8167
	0.7226	0.7294	0.7299	0.7322	0.7462	0.8203
	0.7226	0.7294	0.7299	0.7322	0.7462	0.8203
	0.7136	0.7196	0.7201	0.7224	0.7365	0.8096
	0.7147	0.7317	0.7333	0.7356	0.7495	0.8239
	0.7191	0.7253	0.7258	0.7281	0.7422	0.8159
	0.7226	0.7294	0.7299	0.7322	0.7462	0.8203
	0.7191	0.7253	0.7258	0.7281	0.7422	0.8159
	0.7191	0.7253	0.7258	0.7281	0.7422	0.8159
	0.7191	0.7253	0.7258	0.7281	0.7422	0.8159
	0.7191	0.7253	0.7258	0.7281	0.7422	0.8159
	0.7198	0.7260	0.7265	0.7288	0.7429	0.8167
	0.7247	0.7326	0.7333	0.7356	0.7494	0.8238
	0.7147	0.7317	0.7333	0.7356	0.7495	0.8239
	0.7136	0.7196	0.7201	0.7224	0.7365	0.8096
	0.7226	0.7294	0.7299	0.7322	0.7462	0.8203
	0.7088	0.7240	0.7255	0.7277	0.7417	0.8153

Anexo N° 6: Facturación total empresa concesionaria año 2020

CONCEPTO FACTURADOS	MONTO FACTURADO TOTAL MENSUAL						TOTAL SEMESTRE
	Ene-20	Feb-20	Mar-20	Abr-20	May-20	Jun-20	
Potencia	3,073,732.97	3,036,482.95	2,965,494.94	2,569,726.40	2,459,677.94	2,489,644.75	16,594,759.95
Energía Activa	24,539,064.28	23,954,725.66	23,373,936.01	21,338,693.77	19,424,164.53	19,576,126.03	132,206,710.28
Energía Reactiva	102,101.72	98,434.01	93,077.78	109,030.58	72,219.15	95,749.62	570,612.86
Cargo Fijo	2,042,909.44	2,038,015.62	2,027,031.96	2,031,398.85	2,031,953.52	2,036,908.05	12,208,217.44
Serv. Extraordinario	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
A.P.	2,478,485.41	2,392,553.72	2,387,068.60	2,375,123.67	2,304,277.20	2,395,227.53	14,332,736.13
FOSE	944,479.00	907,977.00	894,967.00	879,441.00	980,648.00	962,675.00	5,570,187.00
Compensacion SEIN	1,525,029.34	1,531,395.46	1,706,070.46	1,765,773.46	1,634,126.10	1,601,748.10	9,764,142.92
Compensacion Aislados	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C.L. propios abastecidos	821,909.59	716,000.12	870,762.02	635,091.47	659,465.62	616,564.18	4,319,793.00
C.L.Abastecidos por Generadoras	55,901,154.70	54,380,685.00	53,987,710.16	33,986,437.59	51,592,601.95	59,802,172.64	309,650,762.04
SUB TOTAL	91,428,866.45	89,056,269.54	88,306,118.93	65,690,716.79	81,159,134.01	89,576,815.90	505,217,921.62

CONCEPTO FACTURADOS	MONTO FACTURADO TOTAL MENSUAL						TOTAL SEMESTRE
	Jul-20	Ago-20	Set-20	Oct-20	Nov-20	Dic-20	
Potencia	2,540,075.56	2,595,373.53	2,603,115.52	2,751,329.07	3,055,998.20	2,860,926.63	16,406,818.51
Energía Activa	21,175,803.46	25,283,977.89	23,963,543.87	23,894,773.83	25,881,264.32	25,349,675.34	145,549,038.71
Energía Reactiva	93,055.41	106,318.80	106,318.80	106,554.15	114,897.14	101,039.78	628,184.08
Cargo Fijo	2,028,841.76	2,028,468.54	2,026,161.72	2,034,756.65	2,054,677.68	2,076,592.83	12,249,499.18
Serv. Extraordinario	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Alumbrado Publico	2,828,897.26	2,819,621.57	2,943,592.21	2,798,268.06	3,001,166.10	2,727,744.80	17,119,289.99
FOSE	944,742.00	1,113,756.00	1,113,805.00	1,113,237.00	1,325,011.00	1,323,632.00	6,934,183.00
Compensacion SEIN	1,550,905.10	1,991,154.64	1,570,858.64	1,572,373.64	1,631,198.88	1,625,624.88	9,942,115.78
Compensacion Aislados	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C.L. propios abastecidos	658,977.56	712,460.66	709,164.43	741,007.31	739,644.28	768,981.52	4,330,235.76
C.L.Abastecidos por Generadoras	64,178,138.57	61,644,412.40	62,353,420.22	61,989,202.40	62,363,440.25	64,724,674.67	377,253,288.51
SUB TOTAL	95,999,436.68	98,295,544.03	97,389,980.41	97,001,502.11	100,167,297.85	101,558,892.45	590,412,653.52

Anexo N° 7: Factor de proporción por cantidad de usuarios año 2020

DETERMINACIÓN DEL TOTAL DE ALÍCUOTAS - UTILIZADOS EN EL SEMESTRE ANTERIOR
(FACTOR DE PROPORCIÓN x CANTIDAD DE USUARIOS)

PERIODO: Semeestre 2020 - II

Rango de Consumo	Jul-20			Ago-20			Set-20			Oct-20			Nov-20			Dic-20							
	Cant. Usuarios (a) (1)	Factor x Cant. Usuarios (a x b)	Factor (b)	Cant. Usuarios (a) (1)	Factor x Cant. Usuarios (a x b)	Factor (b)	Cant. Usuarios (a) (1)	Factor x Cant. Usuarios (a x b)	Factor (b)	Cant. Usuarios (a) (1)	Factor x Cant. Usuarios (a x b)	Factor (b)	Cant. Usuarios (a) (1)	Factor x Cant. Usuarios (a x b)	Factor (b)	Cant. Usuarios (a) (1)	Factor x Cant. Usuarios (a x b)	Factor (b)	Cant. Usuarios (a) (1)	Factor x Cant. Usuarios (a x b)	Factor (b)		
0 hasta 30 kW.h	257,346	1	257,346	253,393	1	253,393	248,707	1	248,707	253,087	1	253,087	248,725	1	248,725	255,070	1	255,070	248,725	1	248,725	255,070	1
>30 hasta 100 kW.h	148,192	7	1,037,344	148,260	7	1,037,820	150,568	7	1,053,976	154,430	7	1,081,010	155,336	7	1,087,352	157,171	7	1,100,197	1,087,352	7	1,087,352	157,171	7
>100 hasta 150 kW.h	42,005	12	504,060	44,147	12	529,764	46,207	12	554,484	44,837	12	538,044	46,620	12	559,440	44,878	12	538,536	559,440	12	559,440	44,878	12
>150 hasta 300 kW.h	33,868	25	846,700	36,762	25	919,050	38,098	25	952,450	35,367	25	884,175	38,744	25	968,600	35,166	25	904,150	968,600	25	968,600	35,166	25
>300 hasta 500 kW.h	7,402	35	259,070	8,208	35	287,280	8,722	35	305,270	8,360	35	292,600	9,235	35	323,225	8,699	35	304,465	323,225	35	323,225	8,699	35
>500 hasta 750 kW.h	2,557	70	178,990	2,857	70	199,990	3,027	70	211,890	3,104	70	217,280	3,392	70	237,440	3,266	70	228,620	237,440	70	237,440	3,266	70
>750 hasta 1 000 kW.h	1,137	80	90,960	1,226	80	98,080	1,302	80	104,160	1,382	80	110,560	1,509	80	120,720	1,445	80	115,600	120,720	80	120,720	1,445	80
>1 000 hasta 1 500 kW.h	1,163	120	139,560	1,312	120	157,440	1,278	120	153,360	1,344	120	161,280	1,410	120	169,200	1,431	120	171,720	169,200	120	169,200	1,431	120
>1 500 hasta 3 000 kW.h	1,189	140	166,460	1,298	140	181,720	1,303	140	182,420	1,326	140	185,640	1,432	140	200,480	1,440	140	201,500	200,480	140	200,480	1,440	140
>3 000 hasta 5 000 kW.h	328	150	49,200	339	150	50,850	372	150	55,800	369	150	55,350	407	150	61,050	398	150	59,700	61,050	150	61,050	398	150
>5 000 hasta 7 500 kW.h	132	250	33,000	151	250	37,750	138	250	34,500	143	250	35,750	158	250	39,500	138	250	34,500	39,500	250	39,500	138	250
>7 500 hasta 10 000 kW.h	67	300	20,100	60	300	18,000	70	300	21,000	80	300	24,000	79	300	23,700	78	300	23,400	23,700	300	23,700	78	300
>10 000 hasta 12 500 kW.h	59	400	23,600	55	400	22,000	57	400	22,800	59	400	23,600	51	400	20,400	53	400	21,200	20,400	400	20,400	53	400
>12 500 hasta 15 000 kW.h	21	500	10,500	30	500	15,000	35	500	17,500	26	500	13,000	39	500	19,500	34	500	17,000	19,500	500	19,500	34	500
>15 000 hasta 17 500 kW.h	23	700	16,100	18	700	12,600	15	700	10,500	28	700	19,600	28	700	21,000	25	700	17,500	21,000	700	21,000	25	700
>17 500 hasta 20 000 kW.h	11	900	9,900	14	900	12,600	18	900	18,000	18	900	16,200	21	900	18,900	15	900	13,500	18,900	900	18,900	15	900
>20 000 hasta 25 000 kW.h	24	1,100	26,400	18	1,100	19,800	23	1,100	25,300	20	1,100	22,000	26	1,100	28,600	26	1,100	28,600	28,600	1,100	28,600	26	1,100
>25 000 hasta 30 000 kW.h	15	1,250	18,750	14	1,250	17,500	19	1,250	23,750	18	1,250	22,500	15	1,250	18,750	21	1,250	26,250	18,750	1,250	18,750	21	1,250
>30 000 hasta 50 000 kW.h	21	1,500	31,500	33	1,500	49,500	24	1,500	36,000	29	1,500	43,500	29	1,500	43,500	31	1,500	46,500	43,500	1,500	43,500	31	1,500
>50 000 hasta 75 000 kW.h	9	1,750	15,750	10	1,750	17,500	14	1,750	24,500	13	1,750	22,750	17	1,750	29,750	8	1,750	14,000	29,750	1,750	29,750	8	1,750
>75 000 hasta 100 000 kW.h	7	2,000	14,000	8	2,000	16,000	5	2,000	10,000	5	2,000	10,000	7	2,000	14,000	8	2,000	16,000	14,000	2,000	14,000	8	2,000
>100 000 hasta 200 000 kW.h	5	3,000	15,000	5	3,000	15,000	11	3,000	33,000	11	3,000	33,000	11	3,000	33,000	5	3,000	15,000	33,000	3,000	33,000	11	3,000
>200 000 hasta 400 000 kW.h	4	4,000	16,000	5	4,000	20,000	3	4,000	12,000	4	4,000	16,000	4	4,000	16,000	5	4,000	20,000	20,000	4,000	20,000	5	4,000
Más de 400 000 kW.h	11	5,000	55,000	11	5,000	55,000	11	5,000	55,000	11	5,000	55,000	11	5,000	55,000	11	5,000	55,000	55,000	5,000	55,000	11	5,000
Total	495,596		3,835,290	498,234		4,043,637	501,029		4,167,367	504,081		4,135,936	507,309		4,361,632	510,429		4,243,108	4,361,632	510,429		4,243,108	

(1) Consignar la información real de la distribución de usuarios por rango de consumo.

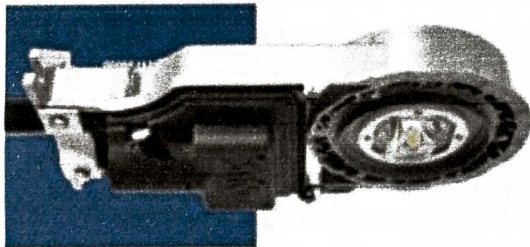
El consumo de AP se factura con un mes de retraso, no considera clientes exonerados de AP y los clientes fotovoltaicos.

Anexo N° 8: Información técnica de luminarias

LUMINARIA LED **LOTUS**

Patente 15/467

La luminaria de LED LOTUS es la mejor solución contra la inseguridad que ha diseñado Manufacturera de Reactores: eficiente, práctica, ligera y económica. Sembrada en espacios específicos, principalmente de vías secundarias, escuelas, comercios y en donde se presenta una dinámica movilidad humana. Contribuye a reducir el riesgo para que se produzcan actos de violencia al ofrecer luz suficiente y clara.



- ✔ La mejor evaluación de valor/precio.
- ✔ Versátil y ligera.
- ✔ Protección antivandálica: IP66 e IK10
- ✔ Fabricado y creado en México.
- ✔ Alimentación 100-277 V.
- ✔ Eficiencia hasta 150 l/W

DISEÑO Y ÚLTIMA TECNOLOGÍA

- Disipador único y patentado que garantiza la máxima durabilidad del LED.
- Terminado en pintura termoconvertible. Controlador dimeable de 20 W hasta 75 W.
- Temperatura de operación de -40°C hasta 50°C*.
- Económica.
- Sistema de apertura libre de herramientas para acceso rápido al equipo.
- Ergonómica y adaptable a cualquier entorno:
 - Comercios
 - Parques
 - Hogares
 - Centros Comerciales
 - Estacionamientos
 - Alumbrado Público
- Disipador único y patentado que garantiza la máxima durabilidad del LED.
- Clasificación Deslumbramiento: bajo.
FL=9.5%, FM=26.8%, FH=15.2% FVH=0.5%
UL=0.1% UH=1.1% BL=8.2%, BM=18.7%, BH=11.8%
BVH=0.6%
- NOM-031-ENER-vigente/ NOM-003-SCFI-vigente / PAESE / NOM-058
- Fococelda multivoltaje opcional (de acuerdo a NMX-J-358-ANCE-vigente)
- Base 7 pin: ANSI C136.41 opcional
- Driver 0-10V dimeable
- Diversidad de temperaturas de color: cálida/semi-cálida/fría.
- Diversas opciones de montaje (tubo o empotrado a pared). Preparada para fococelda o sistema de gestión remota inteligente.
- Abrazadera especial omega-MR para recibir diversos calibres de brazo.
- Cuerpo fabricado en fundición de aluminio liga A-413 de excelente resistencia a la corrosión incluyendo tornillería.



+52 (55) 5694 1000

+52 (55) 5419 9296

www.lotus.com.mx

ventas@mrta.com.mx

MODELOS

Potencia Línea (W)	Potencia LED (W)	TCC (K)	CRI	Flujo (lum)	Eficiencia (l/W)	Óptica	Modelo
20 (1cob)	18	5700	>70	3.000	150	II M	LOTUS 20W 57K 2M MV 1L SF
20 (1cob)	18	5000	>70	3.000	150		LOTUS 20W 5K 2M MV 1L SF
20 (1cob)	18	4000	>70	3.000	150		LOTUS 20W 4K 2M MV 1L SF
30 (1cob)	27	5700	>70	4.500	150		LOTUS 30W 57K 2M MV 1L SF
30 (1cob)	27	5000	>70	4.500	150		LOTUS 30W 5K 2M MV 1L SF
30 (1cob)	27	4000	>70	4.500	150		LOTUS 30W 4K 2M MV 1L SF
40 (1cob)	36	5700	>70	5.800	145		LOTUS 40W 57K 2M MV 1L SF
40 (1cob)	36	5000	>70	5.800	145		LOTUS 40W 5K 2M MV 1L SF
40 (1cob)	36	4000	>70	5.800	145		LOTUS 40W 4K 2M MV 1L SF
50 (1cob)	45	5700	>70	7.250	145		LOTUS 50W 57K 2M MV 1L SF
50 (1cob)	45	5000	>70	7.250	145		LOTUS 50W 5K 2M MV 1L SF
50 (1cob)	45	4000	>70	7.250	145		LOTUS 50W 4K 2M MV 1L SF
60 (1cob)	54	5700	>70	8.100	135		LOTUS 60W 57K 2M MV 1L SF
60 (1cob)	54	5000	>70	8.100	135		LOTUS 60W 5K 2M MV 1L SF
60 (1cob)	54	4000	>70	8.100	135		LOTUS 60W 4K 2M MV 1L SF
70 (1cob)	63	5700	>70	10.150	145		LOTUS 70W 57K 2M MV 1L SF
70 (1cob)	63	5000	>70	10.150	145		LOTUS 70W 5K 2M MV 1L SF
70 (1cob)	63	4000	>70	10.150	145		LOTUS 70W 4K 2M MV 1L SF
75 (1cob)	68	5700	>70	10.875	145		LOTUS 75W 57K 2M MV 1L SF
75 (1cob)	68	5000	>70	10.875	145		LOTUS 75W 5K 2M MV 1L SF
75 (1cob)	68	4000	>70	10.875	145		LOTUS 75W 4K 2M MV 1L SF



Luminaria LVD LED Cree 45W MEAN WELL

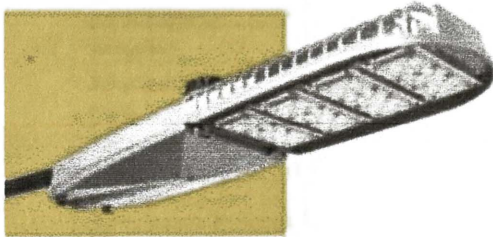
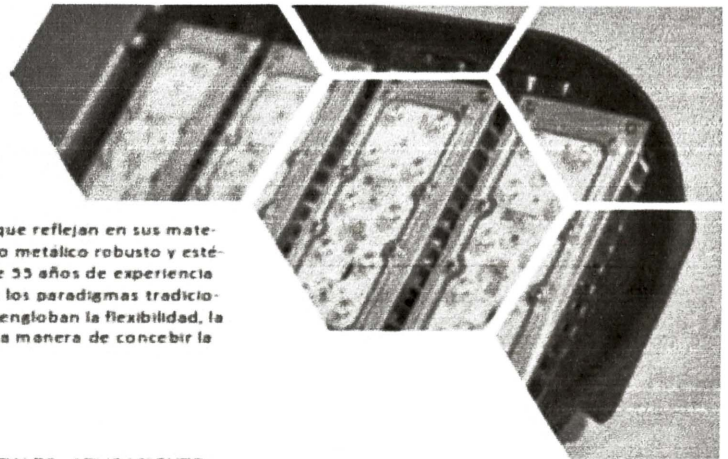
Descripción	Información adicional
Temp. de trabajo:	-20°C / +40°C
Ángulo de Apertura:	110°x70
Factor de Potencia:	0.9
Vida Útil:	50.000 Horas
Certificados:	CE & RoHS
Dimensiones:	376x160x80 mm
Protección IP:	IP65
Fuente Lumínica:	SMD 2835
Clase Aislamiento Eléctrico:	I-II
Material:	Aluminio / PC
Potencia:	45W
Frecuencia:	50-60 Hz
Número de LEDs:	15
Tensión:	220-240V AC
Luminosidad:	5.850 lm
Protección IK:	IK08
Eficiencia Lumínica:	130 lm/W
Garantía:	2 Años
Peso:	2.25kg

<https://www.microlediberica.com/producto/luminaria-lvd-led-cree-45w-mean-well/>

LUMINARIO MR ONE-1

Patente en trámite

El nuevo modelo MR ONE-1 representa no sólo la calidad que reflejan en sus materiales, sino también una propuesta innovadora de un cuerpo metálico robusto y estéticamente fino, resultado de la convergencia de los más de 33 años de experiencia de Manufacturera de Reactores. En un diseño que desafía los paradigmas tradicionales de la industria y la simbiosis con la última tecnología, engloban la flexibilidad, la eficiencia, la ergonomía y el arte mismo de crear una nueva manera de concebir la iluminación en el alumbrado público.



PRINCIPALES APLICACIONES

- Vialidades primarias y secundarias.
- Autopistas.
- Estacionamientos.
- Plazas.
- Avenidas residenciales.
- Desempeño superior en ahorro de energía.

FABRICACIÓN

Construida en aluminio inyectado de excelente resistencia a la corrosión y una carcasa ventilada que permite la disipación continua del calor logrando incrementar la durabilidad de los LEDs y reduciendo el impacto de la depreciación lumínica.

VENTAJAS

- El diseño vanguardista y modular de LED con tecnología SAMSUNG y 120 l/W.
- Ligera y de fácil mantenimiento al poder reducir o aumentar la potencia sin requerir cambiar el luminario completo.
- La separación de los módulos logra una excelente disipación de calor y favorece su fotometría.
- Óptimo en conductividad y conectividad.
- El driver se encuentra colocado en un housing de manera independiente para evitar que se eleve la temperatura al estar en contacto directo con el grupo óptico.
- La configuración es flexible, ya que permite diversas opciones de regulación lumínica y de potencia.

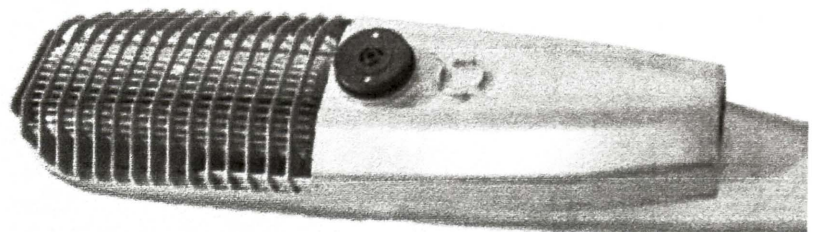
SEGURIDAD

- Los módulos de tipo LED SAMSUNG son totalmente herméticos con grado IP68, lo cual impide la entrada de partículas sólidas y líquidas al conjunto óptico.
- El housing IP68 contiene una caja de bornes de conexión que proporcionan seguridad al mantener aislados de manera individual los cables y evitar cortos.
- Supresor de picos de 10 kV para protección al conjunto eléctrico.
- Driver con protección IP68.

MONTAJE

Un factor de suma importancia en el presupuesto es el costo horas/hombre. MR ONE-1 brinda una solución sencilla de instalación.

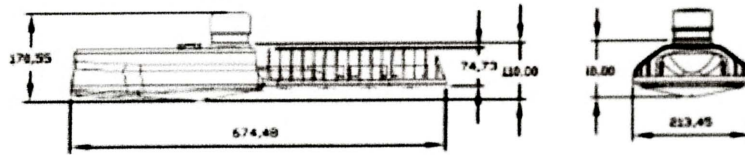
- Sistema de inclinación para montar el brazo al luminario en diferentes ángulos de inclinación.
- Brújula de 4 posiciones para una correcta instalación.
- Abrazadera especial omega-MR para recibir diversos calibres de brazo.
- Sistema de apertura libre de herramientas para acceso rápido al equipo.



www.alumbradopublico.com.mx
(81) 2163-6666 y 67
info@luminaria.com.mx

M MANUFACTURERA
DE REACTORES

CUALIDADES TÉCNICAS



Protección	Driver IP66 Grupo óptico IP66 Housing IP65
Grado IK	IK 09
Dimensiones	673x214x110 mm
Niple entrada	1 1/2" - 2" / 48 - 60 mm
Nivelador*	4 posiciones
Inclinación horizontal	3 posiciones 0-13°
Peso	0.3 kg
Apertura / Cierre	Sin herramienta
Color	Metal Silver

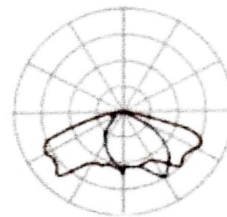
- Cuerpo fabricado en fundición de aluminio liga A-443 de excelente resistencia a la corrosión.
- Terminado en pintura poliéster termoconvertible, preparada para resistir cambios de clima, corrosión y manchas de químicos o solventes.
- Anti grafiti y resistente a la radiación UV.
- Preparada para recibir brazos de 1 1/2 - 2 pulgadas y con flexibilidad para ajustar inclinación del luminario hasta con 3 posiciones y 13°.

CUALIDADES ELÉCTRICAS

Tensión de alimentación	100-277 VAC
Frecuencia	50/60 Hz
Factor de potencia	>0.9
Eficiencia	> 80%
Dist. Armónica	<20%
Temp. de operación	-40°C a 55°C
Supresor de picos	10 KV

CUALIDADES FOTOMÉTRICAS

Optica Tipo	B Media
CR1 /IRC	>75
Vida útil	50,000 hr L80B50@1p, 50=105°C
Temperatura de color	4000/5000 K
Flujo luminoso	12,000 lm
Eficiencia	120 l/W @ 700 mA
	Distribución Fotométrica



Ver diagrama

Características electro-ópticas (IF = 700 mA, tp = 58 °C)

*Segun el modelo

Potencia Láser (W)	Potencia LED (W)	TCC (R)	CR1	Flujo (lm)	Eficiencia (l/W)	Optica	Modelo
170 (40 wds)	91	5000	75	12000	120	1.5M	MR ONE 1 100W 54 2M MV 40L 5P
137 (40 wds)	71	4000	75	12000	168	2.5M	MR ONE 1 100W 44 2M MV 40L 5P
80 (40 wds)	41	5000	75	10800	130	2.5M	MR ONE 1 100W 54 2M MV 40L 5P
80 (40 wds)	41	4000	75	10800	120	2.5M	MR ONE 1 100W 44 2M MV 40L 5P
80 (40 wds)	72	5000	75	9800	120	2.5M	MR ONE 1 100W 54 2M MV 30L 5P
80 (40 wds)	72	4000	75	9800	120	2.5M	MR ONE 1 100W 44 2M MV 30L 5P
70 (30 wds)	41	5000	75	8400	120	2.5M	MR ONE 1 100W 54 2M MV 30L 5P
70 (30 wds)	41	4000	75	8400	120	2.5M	MR ONE 1 100W 44 2M MV 30L 5P
60 (20 wds)	34	5000	75	7200	120	2.5M	MR ONE 1 100W 54 2M MV 20L 5P
60 (20 wds)	34	4000	75	7200	120	2.5M	MR ONE 1 100W 44 2M MV 20L 5P
50 (20 wds)	28	5000	75	6000	120	2.5M	MR ONE 1 100W 54 2M MV 20L 5P
50 (20 wds)	28	4000	75	6000	120	2.5M	MR ONE 1 100W 44 2M MV 20L 5P

GARANTIA

Cada luminario MR ONE 1 es validado durante la producción, pasando por una serie de pruebas que cumplen con los estándares requeridos en áreas exteriores, calles y vías públicas, garantizando su desempeño confiable y constante. Garantía de 1 año.

www.alumbradopublico.com.mx
(81) 2163-6666 y 67
info@luminaria.com.mx

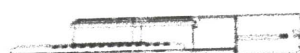
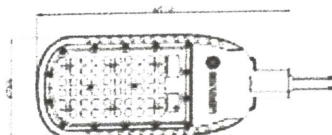
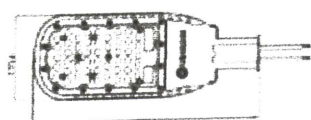


MR ONE 1	100W	54	2M	MV	40L	5P	MODELO
MR ONE 1	100W	54	2M	MV	40L	5P	Nombre
MR ONE 1	100W	54	2M	MV	40L	5P	Potencia
MR ONE 1	100W	54	2M	MV	40L	5P	Optica
MR ONE 1	100W	54	2M	MV	40L	5P	Tamaño
MR ONE 1	100W	54	2M	MV	40L	5P	Ø Led
MR ONE 1	100W	54	2M	MV	40L	5P	Potencia
MR ONE 1	100W	54	2M	MV	40L	5P	Ø Led
MR ONE 1	100W	54	2M	MV	40L	5P	Nombre

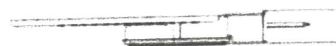
Características del Producto

Potencia Nominal	90W	120W	150W
Flujo Luminoso	11 250 lm / 11 700 lm / 12 150 lm	15 000 lm / 15 600 lm / 16 200 lm	18 750 lm / 19 500 lm / 20 250 lm
Corriente	900 – 380 mA	1 200 – 500 mA	1 500 – 630 mA
Tensión Nominal	100-240 V~		
Frecuencia	50/60 Hz		
Eficiencia	125 lm/W / 130 lm/W / 135 lm/W		
Temperatura de Color	3 000 K / 4 000 K / 6 500 K		
Índice de Reproducción de Color (IRC)	>80		
Factor de Potencia	>0.93		
Supresor de picos (SPD)	10 kV (L-N) & (L.N-PE)		
Angulo de Apertura	85° x 150°		
Vida Útil	50 000 h (L70)		
Atenuable	No		
Índice de Protección	IP66		
Protección contra Impactos Mecánicos	IK08		
Garantía	5 años		
Minima y Máxima Temperatura de Operación	-30~... +50°C		
Minima y Máxima Temperatura de Almacenaje	-40~... +70°C		
Distorsión de Armónicas (THD)	<20%		
Material y color de la carcasa	Aluminio / Gris RAL7015		
Material difusor y acabado	Policarbonato		

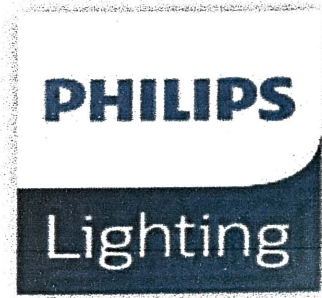
Imágenes: Luminarias



90W y 120W



150W



RoadFlair Gen2

BRP493 LED285/NW 200W 220-240V DM GM

RoadFlair Gen2 - 28500 lm - 200 W - 4000 K

RoadFlair Gen2 is brand new design road lighting product family, set to meet customers' all-round requirements, including high lumen efficacy for energy saving and sustainability, aesthetic design for nice shape and appearance, quality material and components for product reliability and long lifetime, professional optics for various applications fulfillment, dimming and system control interface for improving municipal operations and offering future-proof features. RoadFlair Gen2 competitive price would help on the acceleration of road lighting LED transformation, to a more sustainable society and smarter city.

Product data

General information	
Light source color	TM0 neutral white
Driver included	Yes
Optical cover/lens type	Polycarbonate macro lens optic
Control interface	Analog
Connection	Series connection block 3-pole
Cable	
Protection class IEC	Safety class I
CE mark	CE mark
Operating and Electrical	
Input Voltage	220 to 240 V
Input Frequency	50 or 60 Hz
Power Factor (Min)	0.95

Controls and Dimming	
Dimmable	Yes
Mechanical and Housing	
Housing Material	Aluminium pressure die cast
Optical cover/lens material	Polycarbonate
Overall length	570 mm
Overall width	297 mm
Overall height	136 mm
Color	Aluminium and gray
Approval and Application	
Ingress protection code	IP68 (Dust penetration-protected per proof)
Mech. Impact protection code	IK08 (5 J impact-protected)
Initial Performance (IEC Compliant)	
Initial luminous flux (system flux)	28500 lm

RoadFlair Gen2

Luminous flux tolerance	+/- 10%
Initial LED luminaires efficacy	140 lm/W
Init. CRI Color Temperature	4000 K
Init. Color Rendering Index	> 90
Initial input power	200 W
Power consumption tolerance	+/- 10%

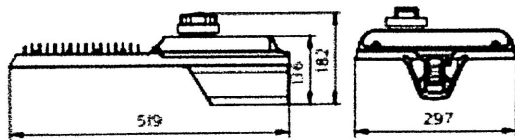
Application Conditions	
Ambient temperature range	-40 to +50 °C

Product Data	
Full product code	911401673506

Order product name	SRP-421 LED-REF. NEW 200W 230 240V DM GM
Order code	911401673506
Numerator - Quantity Per Pack	1
Numerator - Packs per outer box	1
Material Nr (129C)	911401673506
Net Weight (Packs)	0.600 kg



Dimensional drawing



SRP421/SRP451 <https://www.signify.com/~/media/Signify/Products/LED/200W-240V-DM-GM>



© 2021 Signify Lighting. All rights reserved. Signify does not give any representation or warranty as to the accuracy or completeness of the information included herein and shall not be liable for any action in reliance thereon. The information presented in this document is not intended as any commercial offer and does not form part of any quotation or contract, unless otherwise agreed by Signify Lighting. Philips and the Philips Shield Emblem are registered trademarks of Koninklijke Philips N.V.

www.signifylighting.com
2021 October 20 - data subject to change