



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA



EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE ALUMBRADO CON
ILUMINACIÓN LED Y PANELES FOTOVOLTAICOS PARA LA
AV. CIRCUNVALACIÓN II DE LA CIUDAD DE JULIACA

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. ELISEO CHISLLA VALERIANO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PUNO – PERÚ

2022



DEDICATORIA

A Dios por su bondad y su misericordia quien es guía en mi camino, por darme oportunidades y fortalezas para seguir avanzando.

A mis padres por regalarme la vida, por sus enseñanzas, y por su constante apoyo durante mis estudios siendo mis pilares desde mis inicios.

A mis hermanas y hermanos por brindarme su confianza, comprensión y motivación en el transcurso de mi vida y durante mi formación académica.

Eliseo Chislla Valeriano



AGRADECIMIENTO

A Dios por las enormes bendiciones brindadas, por la gran cantidad de oportunidades y desafíos que puso en mi camino, camino que sin él me hubiese sido difícil de recorrer hasta este punto, y sé que me acompañará en los retos venideros.

A mis padres que siempre creyeron y confiaron en mí sin dudar un solo momento y me apoyaron incondicionalmente, también a mis hermanos y hermanas, quienes me brindaron sus consejos y motivaciones para lograr mis objetivos.

Me siento agradecido a los docentes de la Escuela profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, que con sus valiosas enseñanzas y experiencias contribuyeron en mi desarrollo profesional.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

ÍNDICE DE ANEXOS

RESUMEN 18

ABSTRACT..... 19

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA 20

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 21

1.2.1 Problema general 21

1.2.2 Problemas específicos 21

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 21

1.3.1 Objetivo general 21

1.3.2 Objetivos específicos 22

1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN..... 22

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES 23

1.5.1 Alcances 23

1.5.2 Limitaciones 24

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN..... 26



2.2 SUSTENTO TEÓRICO	33
2.2.1 Iluminación	33
2.2.2 Magnitudes y unidades luminosas	38
2.2.2.1 Flujo luminoso (Φ):	39
2.2.2.2 Intensidad luminosa (i):	39
2.2.2.3 Iluminancia (e):	40
2.2.2.4 Luminancia (l):	40
2.2.2.5 Eficacia lumínica (η):	41
2.2.2.6 Deslumbramiento	41
2.2.2.7 Coeficiente de iluminación en los alrededores	42
2.2.3 Definición de alumbrado público	43
2.2.4 Lámparas	44
2.2.4.1 Criterios que definen el rendimiento de una lámpara	44
2.2.4.2 Principales tipos de lámparas	45
2.2.5 Luminarias	53
2.2.5.1 Clasificación de las Luminarias.	55
2.2.6 Alumbrado público con luminarias de led	59
2.2.6.1 Introducción a los LEDs	60
2.2.6.2 Partes de un LED	61
2.2.6.3 Ventajas y desventajas de los LEDs	62
2.2.6.4 Tipos de LEDs	63
2.2.6.5 Funcionamiento de los elementos de una luminaria LED	65
2.2.7 Criterios de diseño de alumbrado público	68
2.2.7.1 Niveles de iluminación recomendados	69
2.2.7.2 Cálculo de la iluminancia promedio de una vía	80
2.2.8 Energía solar	84
2.2.9 Radiación solar	85



2.2.10 Geometría solar	87
2.2.10.1 Constante solar	87
2.2.10.2 Declinación solar	88
2.2.10.3 Cartas solares.....	90
2.2.10.4 La masa de aire.....	91
2.2.10.5 Horas pico del sol (HPS).....	92
2.2.11 Celdas solares.....	92
2.2.12 Tipos de celdas solares.....	94
2.2.13 Curva característica.....	97
2.2.13.1 Influencia de la radiación en la eficiencia de una celda solar ...	98
2.2.13.2 Influencia de la temperatura en la eficiencia de una celda solar	99
2.2.14 Paneles o módulos solares	100
2.2.14.1 Orientación de un panel solar	100
2.2.14.2 Ángulo de inclinación de un panel solar	101
2.2.15 Sistema solar fotovoltaico.....	101
2.2.16 Componentes de un Sistema Fotovoltaico.....	102
2.2.16.1 Módulo solar fotovoltaico	103
2.2.16.2 Controlador o regulador de carga.....	106
2.2.16.3 Acumulador de energía eléctrica.....	107
2.2.16.4 Elementos eléctricos auxiliares	111
2.2.17 Estructura de soporte.....	112
2.2.17.1 Selección del poste de alumbrado público.	112
2.2.17.2 Anclaje de poste.	112
2.2.18 Análisis económico en proyectos de ingeniería.....	115
2.2.18.1 Valor actual neto (VAN)	115
2.2.18.2 Tasa interna de retorno (TIR).....	116
2.2.19 Marco Normativo.....	117



2.2.19.1 Normas generales	118
2.2.19.2 Marco normativo de RER.....	118
2.2.19.3 Procedimientos regulatorios – Osinergmin	119
2.3 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACION LED CON PANELES FOTOVOLTAICOS.....	119
2.3.1 Estimación del Nivel de Radiación Solar	119
2.3.2 Inclinação óptima de los paneles	120
2.3.3 Selección de luminarias para el alumbrado público	121
2.3.4 Cálculos Luminotécnicos.....	122
2.3.5 Dimensionamiento y Cálculo del Sistema Fotovoltaico.....	123
2.3.5.1 Radiación solar promedio mensual.	123
2.3.5.2 Luminaria considerada	123
2.3.5.3 Potencia requerida.	124
2.3.5.4 Cálculo del consumo máximo	124
2.3.5.5 Cálculo para determinar la capacidad de la batería.....	127
2.3.5.6 Cálculo para determinar la potencia mínima del panel fotovoltaico.	127
2.3.5.7 Cálculo del número de paneles.....	128
2.3.5.8 Cálculo para determinar la corriente del controlador de carga	129
2.3.5.9 Cálculo para selección de conductores.....	130
2.3.5.10 Sistema de protección.....	132
2.3.5.11 Sistema de puestas a tierra.....	134
2.3.5.12 Esquema del sistema de iluminación fotovoltaico.	135
2.4 GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	136
2.5 HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	139
2.5.1 Hipótesis General.....	139
2.5.2 Hipótesis Específicas	139



2.6 VARIABLES E INDICADORES.....	140
2.6.1 Definición Conceptual	141
2.6.2 Definición operacional.....	142

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	144
3.1.1 Tipo de investigación	144
3.1.2 Enfoque de la investigación.....	144
3.1.3 Diseño de investigación	145
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN	145
3.3 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN.....	145
3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	148
3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	149
3.6 TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	150
3.6.1 Análisis de datos y desarrollo de actividades	150
3.6.2 Matriz de consistencia desarrollo del proyecto.....	151

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANÁLISIS TÉCNICO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN CON PANELES FOTOVOLTAICOS PARA ALUMBRADO PÚBLICO.....	153
4.1.1 Análisis luminotécnico de alumbrado público.....	153
4.1.2 Análisis energético de alumbrado público.....	154
4.1.2.1 Energía total sistema solar fotovoltaico	154
4.1.2.2 Energía total sistema convencional	155
4.1.2.3 Eficiencia energética del sistema propuesto.....	156
4.1.3 Características técnicas del sistema propuesto	157



4.1.3.1	Luminarias.....	157
4.1.3.2	Paneles solares fotovoltaicos.....	158
4.1.3.3	Controlador o regulador de carga.....	158
4.1.3.4	Baterías.....	159
4.1.3.5	Conductores.....	160
4.1.3.6	Altura de instalación de las luminarias.....	161
4.1.3.7	Distancia entre estructuras (postes).....	161
4.1.3.8	Selección del poste metálico para iluminación vial	163
4.1.3.9	Anclaje de poste metálico.....	163
4.1.3.10	Esquema general de montaje del sistema propuesto	164
4.2	EVALUACIÓN ECONÓMICA	165
4.2.1	Condiciones para la Evaluación.....	165
4.2.2	Presupuesto referencial de sistema de iluminación led con panel fotovoltaica 165	
4.2.3	Presupuesto referencial sistema convencional de iluminación	166
4.2.4	Análisis de beneficios y ahorro económico	166
4.2.4.1	Costo de energía en sistema propuesto.....	166
4.2.4.2	Costo de energía en sistema convencional	167
4.2.4.3	Ahorro económico energético anual.....	168
4.2.4.4	Costo por mantenimiento	168
4.2.4.5	Ahorro por costo de mantenimiento.....	171
4.2.5	Rentabilidad del Proyecto.	172
4.2.5.1	Análisis costo/beneficio	173
4.2.5.2	Análisis de Sensibilidad	174
4.3	ANÁLISIS AMBIENTAL Y EMISIONES DE CO2.....	175
4.4	RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	177
4.5	DISCUSIÓN	178



V. CONCLUSIONES	182
VI. RECOMENDACIONES	184
VII. REFERENCIAS	185
ANEXOS	191

ÁREA : Energías renovables

TEMA: Iluminación con paneles fotovoltaicos

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 02 de septiembre del 2022



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Espectro Electromagnético	34
Figura 2: Propiedad de Reflexión y Refracción de la Luz	35
Figura 3: Propiedad de Transmisión de la Luz.....	36
Figura 4: Propiedad de absorción de la Luz	36
Figura 5: Luminancia de una Superficie	41
Figura 6: Lámpara Incandescente.....	46
Figura 7: Lámpara de vapor de mercurio de baja presión	47
Figura 8: Lámpara de Mercurio a Alta Presión.	48
Figura 9: Lámpara de Halógeno arranque alto.	49
Figura 10: Lámpara de vapor de sodio baja presión.....	50
Figura 11: Lámpara de Sodio a Alta Presión.....	51
Figura 12: Principio de funcionamiento de los LED.....	52
Figura 13: Lámpara LED.....	52
Figura 14: Características Mecánicas de las Luminarias	56
Figura 15: Apertura Transversal.....	58
Figura 16: Partes del LED	61
Figura 17: Chip de LED	65
Figura 18: Driver de LED.....	66
Figura 19: Placa base LED	67
Figura 20: Disipador térmico LED.....	67
Figura 21: <i>Lente óptico LED</i>	68
Figura 22: Disposición de luminarias vías simples	75
Figura 23: Disposición de luminarias vías dobles.....	76
Figura 24: Disposición de luminarias tramos curvos	77



Figura 25: Disposición de luminarias cruces.....	78
Figura 26: Disposición de luminarias en óvalos y glorietas.....	78
Figura 27: Disposición de luminarias vías peatonales	79
Figura 28: Iluminación con presencia de árboles en la vía	79
Figura 29: Distribución de puntos en una disposición unilateral	83
Figura 30: Interfaz del software Ulysse 3.....	84
Figura 31: La radiación y su distribución.....	86
Figura 32: Mapa de la energía solar diaria promedio Anual	87
Figura 33: Declinación solar	89
Figura 34: Posición del sol y coordenadas	90
Figura 35: Carta solar que muestra la trayectoria del sol y las horas del día	91
Figura 36: Representación de Horas sol pico	92
Figura 37: Funcionamiento de Celda Solar	93
Figura 38: Tipos de células fotovoltaicas	95
Figura 39: Curva corriente vs tensión de una celda solar.....	97
Figura 40: Variación de la corriente y tensión con la radiación.....	98
Figura 41: Variación de la corriente y tensión con la temperatura.....	99
Figura 42: Componentes de un sistema fotovoltaico	103
Figura 43: Estructura del panel solar fotovoltaico	104
Figura 44: Controlador o Regulador de Carga	107
Figura 45: Elementos de una batería	109
Figura 46: Componentes de batería solar	110
Figura 47: Detalle de Anclaje de poste metálico.....	114
Figura 48: VAN vs tasa de interés.....	116
Figura 49: Radiación Solar en Puno	120



Figura 50: Esquema de iluminación fotovoltaica	136
Figura 51: Ubicación geográfica del distrito de Juliaca	146
Figura 52: Ubicación geográfica de los puntos P1 - P6, principio y final respectivamente de la Av. Circunvalación II, para el alumbrado público con fuente fotovoltaica	147
Figura 53: Esquema de montaje general del sistema propuesto	164



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Apariencia de color vs Temperatura de color.....	37
Tabla 2: Índice de rendimiento cromático de acuerdo a la fuente de luz	38
Tabla 3: Flujo luminoso de acuerdo al tipo de lámpara.....	39
Tabla 4: Iluminancia según los ambientes.....	40
Tabla 5: Índice de deslumbramiento.....	42
Tabla 6: Clases de Luminarias según su Protección Eléctrica	55
Tabla 7: Grados de protección IP contra agentes sólidos	56
Tabla 8: Grados de protección IP contra agua.....	57
Tabla 9: Tipos de Alcance de iluminación	58
Tabla 10: Tipos de Apertura de alumbrado	59
Tabla 11: Tipos de Control de luminaria.....	59
Tabla 12: Tipos de alumbrado según la clasificación vial.....	70
Tabla 13: Identificación de la calzada	71
Tabla 14: Niveles de luminancia, iluminancia e índice de control de deslumbramiento	72
Tabla 15: Uniformidad de luminancia.....	72
Tabla 16: Uniformidad media de iluminancia	73
Tabla 17: Relación ancho y altura para vías recomendados por la CIE (1997)	75
Tabla 18: Disposiciones en curvas recomendados por la CIE (1997).....	77
Tabla 19: Altura de montaje con flujo de Lámpara.....	80
Tabla 20: Eficiencia de células fotovoltaicas	96
Tabla 21: Ángulo de inclinación óptimo según la latitud.....	101
Tabla 22: Características generales de postes metálicos	112
Tabla 23: Dimensionamiento general de cimentación de postes metálicos	113



Tabla 24: Características de los conductores a utilizar.....	132
Tabla 25: Características de clima región Puno	147
Tabla 26: Operacionalizacion de Variables	149
Tabla 27: Resultados luminotécnicos al realizar la Simulación	153
Tabla 28: Ahorro energético en sistema propuesto	157
Tabla 29: Características técnicas del panel Monocristalinos 380 WP/24 VCD.....	158
Tabla 30: Características Técnicas del Controlador de Carga.....	159
Tabla 31: Características técnicas de la Batería	160
Tabla 32: Características Conductores de Cu TTRF-70(NLT/NMT)	160
Tabla 33: Costo de la energía fotovoltaica con iluminación LED.....	167
Tabla 34: Costo de la energía con sistema convencional	168
Tabla 35: Costo referencial por mantenimiento de sistema fotovoltaico	169
Tabla 36: Costo referencial por mantenimiento sistema convencional	170
Tabla 37: Ahorro económico anual por mantenimiento	171
Tabla 38: Análisis del flujo neto efectivo.....	172
Tabla 39: Flujo de Caja anual	173
Tabla 40: Resultados del VAN, TIR periodo de retorno y beneficio/costo.....	174
Tabla 41: Análisis de sensibilidad	174
Tabla 42: Emisiones de CO2 evitadas etapa operativa.....	175
Tabla 43: Resumen de resultados objetivos.....	177



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

LED	Light-Emitting Diode
VSAP	Vapor de Sodio de Alta Presión
SFV	Sistema fotovoltaico
DGE	Dirección General de Electricidad
m.s.n.m	Metros Sobre el Nivel del Mar
VAN	Valor Actual Neto
TIR	Tasa Interna de Retorno
MINEM	Ministerio de Energía y Minas del Perú
OSINERGMIN	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería
MINEM	Ministerio de Energía y Minas
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
NASA	National Aeronautics and Space Administration
IGV	Impuesto General a las Ventas
B/C	Beneficio Costo
PR	Periodo de Retorno económico



ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: PLANO CARACTERÍSTICO DE LA AV. CIRCUNVALACIÓN II – JULIACA.	191
ANEXO 2: CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE EQUIPOS Y MATERIALES	192
ANEXO 2.1: Especificaciones técnicas de Luminarias LED.....	199
ANEXO 2.2: Especificaciones técnicas de Panel fotovoltaico 380Wp.....	200
ANEXO 2.3: Especificaciones técnicas Batería Solar.....	201
ANEXO 2.4: Especificaciones técnicas Controlador de Carga MPPT.....	202
ANEXO 2.5: Especificaciones técnicas interruptor termomagnético.....	203
ANEXO 2.6: Especificaciones técnicas de conductores eléctricos.....	204
ANEXO 3: PRESUPUESTO REFERENCIAL.....	199
ANEXO 3.1: Presupuesto referencial Iluminación Led con paneles.....	206
ANEXO 3.2: Presupuesto referencial Iluminación convencional.....	207
ANEXO 4: RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS DE LA AV. CIRCUNVALACIÓN II.....	202



RESUMEN

En el presente proyecto de investigación se realizó la evaluación y propuesta de alumbrado Público utilizando luminarias LED alimentadas por paneles Fotovoltaicos para la Av. Circunvalación II de la ciudad de Juliaca. Considerando que con el tipo de iluminación propuesto se pretende determinar que la eficiencia energética, los beneficios económicos y la reducción del impacto negativo en el medio ambiente son ventajosos y beneficiosos para la población, en contraste con el sistema de iluminación convencional de alumbrado público. Desarrollando el proyecto en base de análisis teórico con las técnicas de observación y documental, revisando las fuentes bibliográficas que determinan las características, usos y ventajas de la iluminación LED con paneles fotovoltaicos a comparación con el tipo de iluminación convencional. Para la evaluación del proyecto se realiza la caracterización de la energía solar en la zona del proyecto con un ángulo de inclinación óptimo, considerando datos de irradiación solar mínima. Seguidamente para determinar los niveles de iluminación en la Av. Circunvalación II se utilizó el software ULYSSE 3 donde se simuló la iluminación para luminarias LED y convencionales, cumpliendo la normativa nacional en función a las características de la avenida, con base al consumo de energía de las luminarias LED seleccionadas se dimensionó la fuente energética solar fotovoltaica. Finalmente se realizó un análisis de consumo energético, obteniendo como resultados que el sistema de iluminación con paneles fotovoltaicos tiene mayores ventajas de eficiencia energética, similarmente se realizó una evaluación económica, donde el proyecto resulta viable y rentable, presentando un retorno de la inversión de 6 años con 11 meses. Además el proyecto brindará beneficios ambientales, evitando la emisión de CO₂ en su etapa de operación.

Palabras Clave: Alumbrado público, Energía solar, iluminación LED, Panel fotovoltaico.



ABSTRACT

In this research project, the evaluation and proposal of public lighting using LED luminaires powered by photovoltaic panels for the Circunvalación II Avenue in the city of Juliaca was carried out. Considering that with the type of lighting proposed it is intended to determine that energy efficiency, economic benefits and reduction of negative impact on the environment are advantageous and beneficial to the population, in contrast to the conventional lighting system of public lighting. Developing the project based on theoretical analysis with observation and documentary techniques, reviewing the bibliographic sources that determine the characteristics, uses and advantages of LED lighting with photovoltaic panels compared to conventional lighting. For the evaluation of the project, the characterization of solar energy in the project area with an optimal angle of inclination is performed, considering minimum solar irradiation data. The ULYSSE 3 software was used to determine the illumination levels in Circunvalación II Avenue, where the lighting was simulated for LED and conventional luminaires, complying with national regulations according to the characteristics of the avenue, based on the energy consumption of the selected LED luminaires, the solar photovoltaic energy source was sized. Finally, an energy consumption analysis was performed, obtaining as results that the lighting system with photovoltaic panels has greater energy efficiency advantages, similarly an economic evaluation was performed, where the project is feasible and profitable, presenting a return on investment of 6 years and 11 months. In addition, the project will provide environmental benefits, avoiding CO₂ emissions during its operation stage.

Keywords: Public lighting, Solar Energy, LED Lighting, Photovoltaic panel.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad todos los aspectos de nuestra vida diaria involucran el uso de energía, así como la iluminación de ambientes, alumbrado público de vías y parques. Para estos fines se requiere el uso de energías renovables ya que la generación de energía con combustibles fósiles es limitada y trae contaminación preocupante para el medio ambiente. La energía solar es una excelente fuente de energía renovable que puede ser aprovechada de distintas maneras así como en la iluminación de alumbrado público. El servicio de alumbrado público tiene como objetivo brindar exigencias básicas de iluminación en plazas, avenidas, calles, que son espacios públicos para el desarrollo de las actividades con seguridad y acordes a cada lugar, con la iluminación confiable, adecuada y de calidad. Priorizando la utilización de energías renovables y mejorando en la eficiencia energética.

Si el Perú supiera aprovechar la tecnología LED sólo en alumbrado público estaría ahorrando unos US\$ 600 millones anuales, tal como ahora viene sucediendo en muchos países del mundo que ya aplican esta forma de iluminación ecoeficiente (Barrios David, 2015). Director general de la LED Expo Perú.

Iluminar la Av. Circunvalación II de la ciudad de Juliaca área del presente proyecto, con luminarias con tecnología LED alimentadas por paneles fotovoltaicos que brinden mejores niveles de iluminación y autonomía, resulta ser una buena alternativa tecnológica, beneficiando al medio ambiente y así también a la sociedad. Teniendo en consideración que la inversión inicial de implementar este nuevo sistema de iluminación



es ligeramente mayor en comparación al sistema convencional, sin embargo se podrá demostrar que la recuperación económica por el ahorro del uso de energía fotovoltaica se logra en pocos años. Así mismo beneficiando a la municipalidad correspondiente evitando los pagos realizados por concepto de Alumbrado Público de 16.3km de longitud de la Avenida.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema general

¿De qué manera la Propuesta de implementación del Alumbrado Público con iluminación LED y Paneles Fotovoltaicos en la Av. Circunvalación II de la ciudad de Juliaca dará los beneficios a la población?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es la eficiencia energética por el uso de la iluminación LED con paneles fotovoltaicos para el alumbrado público?
- ¿Cuál es el beneficio económico al utilizar la Iluminación LED con paneles fotovoltaicos respecto a la iluminación convencional?
- ¿Qué efectos de impacto Ambiental se da al utilizar la iluminación LED con paneles fotovoltaicos en el alumbrado público de la Av. Circunvalación II?

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Objetivo general

Evaluar y Proponer el Alumbrado Público con Iluminación LED y Paneles Fotovoltaicos en la Av. Circunvalación II de la ciudad de Juliaca que brinde beneficios a la población.



1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar los parámetros de iluminación para el alumbrado público y demostrar la eficiencia energética por el uso de luminarias LED alimentado con paneles fotovoltaicos.
- Realizar una evaluación económica al utilizar la iluminación LED con Paneles fotovoltaicos respecto a la iluminación convencional.
- Analizar el impacto benéfico al medio ambiente planteados en este tipo de sistema de Alumbrado público.

1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El desarrollo del presente proyecto de investigación se realiza con el propósito de aprovechar la fuente de energías renovables como la energía solar, para transformarla en energía eléctrica a través de un sistema de panel fotovoltaico, que nos permita iluminar con luminarias LED para el alumbrado público de la Av. Circunvalación II de la ciudad de Juliaca. Contribuyendo con el cuidado del medio ambiente al disminuir las emisiones de CO₂ y mejorar la eficiencia energética. Similarmente brindará beneficios económicos significativos siendo en la actualidad un modelo de aprovechamiento de energía renovable sostenible.

En la actualidad se tiene un proyecto de inversión pública, que tiene por objetivo implementar el alumbrado público de la Av. Circunvalación II con un sistema convencional, utilizando luminarias VSAP alimentada con corriente alterna brindadas por una concesionaria. El cual no contribuye en la mejora de la eficiencia energética ni el cuidado del medio ambiente. Teniendo como el problema significativo el desaprovechamiento de las energías renovables, las cuales tienes diferentes causas, entre



ellas es la baja conciencia ambiental en diferentes sectores e instituciones. Por lo mencionado, la propuesta del presente proyecto de alumbrado público con iluminación LED alimentada con paneles fotovoltaicos es viable, rentable, amigable con el medio ambiente y se obtiene mejoras en la eficiencia energética. Adicionalmente se pretende despertar el interés de las entidades y gobiernos de turno para impulsar la implementación de tecnologías limpias.

La implementación del proyecto propuesto tiene un costo de inversión más alto que el sistema convencional, sin embargo, los costos de operación y mantenimiento son más bajos, así como también sus componentes no tienen materiales contaminantes, como por ejemplo mercurio, como es el caso de los artefactos convencionales con lámparas de descarga (Sampe, 2018).

Es importante mencionar que, en nuestro país la energía por el servicio de alumbrado público, si bien está administrada por las empresas concesionarias en concordancia con las municipalidades, los costos son trasladados a los usuarios. En consecuencia, con la implementación del proyecto propuesto los beneficiarios directos serían los usuarios al disminuir los costos en los pagos por dicho servicio, en comparación con el sistema convencional de alumbrado público.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.5.1 Alcances

El alcance del presente proyecto de investigación es evaluar y proponer el alumbrado público con iluminación LED alimentada con paneles fotovoltaicos en la Av. Circunvalación II de la ciudad de Juliaca, ubicada en la provincia de San Román departamento de Puno. Los datos para este trabajo se obtendrán de visita a campo



específicamente a la avenida en mención, aplicando el método de observación, seguidamente se obtendrán más datos e información de la documentación, parámetros meteorológicos, bibliografía y otros documentos relacionados a la metodología a implementar. Para ello se estudiarán los distintos factores que se presentan en el diseño de este sistema.

A continuación, se mencionan los estudios necesarios para la evaluación y análisis del proyecto en mención:

- Eficiencia Energética, aplicado a la energía eléctrica.
- Energía Solar, irradiación, insolación y condiciones necesarias para un mejor aprovechamiento de esta.
- Condiciones ambientales para la instalación sistemas solares en la zona del proyecto.
- Determinación de la energía consumida
- Características Técnicas de las luminarias LED.
- Estudio luminotécnico con el software ULYSSE 3.
- Características técnicas de Paneles Solares Fotovoltaicos, tecnologías de fabricación, posición y orientación al Sol.
- Especificaciones de equipos: Baterías, controlador.
- Diseño de un Sistema de Iluminación LED Alimentado por Paneles fotovoltaicos.
- Evaluación económica del sistema propuesto.

1.5.2 Limitaciones

El proyecto está limitado a las características de irradiación solar de la zona en la que se va a instalar y las exigencias de alumbrado público para las características



particulares de dicha avenida. Similarmente para el presente proyecto se excluye los estudios como:

- Mediciones de irradiación e insolación.
- Mediciones de luminancia e iluminancia para las luminarias LED.
- Levantamiento o inventariado de las instalaciones existentes.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Para adentrarnos en el presente proyecto es necesario conocer estudios, investigaciones y trabajos anteriores. Daremos algunas citas, a fin de ver sus perspectivas y enfoques de sus estudios para la presente investigación:

La tesis titulada, *Análisis y Selección de Fuente Energética Fotovoltaica para el Alumbrado Público de la Carretera que enlaza la Universidad Cesar Vallejo con el Distrito de Morales Provincia De San Martin*; tuvo como objetivo, Analizar y seleccionar fuente energética fotovoltaica para el alumbrado público de la carretera que enlaza la Universidad Cesar Vallejo con el Distrito de Morales; donde, concluye que el sistema fotovoltaico tiene un retorno operacional de la inversión de 10 años, para lo cual la inversión inicial asciende a \$ 564319, para la instalación de los 133 postes de alumbrado público, logrando un beneficio útil 55924\$/año (Salavarría, 2016).

En la tesis titulada, *Diseño de un sistema de iluminación Fotovoltaico mediante tecnología led para el parque central de la provincia de Jaén – Cajamarca*; Se propone Diseñar un sistema de iluminación fotovoltaico mediante tecnología LED para el Parque Central de la provincia de Jaén - Cajamarca. Con la caracterización del recurso solar, determinación de los niveles de iluminación tipo LED basándose en el código nacional de electricidad, realizando el dimensionamiento del sistema fotovoltaico y el estudio económico; Donde concluye que el diseño del sistema de iluminación fotovoltaica mediante tecnología LED, es viable ya que se abastece de energía eléctrica de forma independiente de otras fuentes de energía. Y sirve como un proyecto piloto ya que se obtiene grandes ventajas de aplicación donde se requiere confiabilidad, bajo costo del



servicio eléctrico y una buena iluminación, además la rentabilidad del proyecto presenta indicadores favorables con un tiempo de recuperación de 7 años y 4 meses que es menor a la vida útil (Pérez, 2019).

El proyecto de tesis con título, *Propuesta de diseño de alumbrado público alimentado con energía solar y con estación de carga*; en este proyecto se plantea el diseño de alumbrado público con estación de carga, el cual no estará interconectado a la red eléctrica, y que servirá para beneficiar a una sociedad específica, el cual brindará seguridad en las noches y proveerá recarga de emergencia para dispositivos móviles como son los teléfonos celulares y tabletas electrónicas para el público en general; la iluminación será a base de LEDS para tener un óptimo aprovechamiento de la energía; Donde se concluye que el proyecto es sostenible y que demuestra cómo es posible utilizar con éxito fuentes alternativas de energía eléctrica, para ayudar a la conservación del medio ambiente con una fuente inagotable, evitando así los efectos contaminantes debido a que no produce emisiones de CO₂, además el sistema solar fotovoltaico propuesto es eficiente y cumple a cabalidad con los parámetros de diseño, es económico y brinda los beneficios de alumbrado público para proporcionar mayor seguridad por las noches, también brinda la posibilidad de recargar tres dispositivos móviles al mismo tiempo y es adaptable a las tecnologías futuras (Morales et al.,2015).

En el trabajo de investigación titulada, *Diseño de un sistema de iluminación LED con celdas solares autónomas para áreas externas de la U.C.S.M*; cuyo propósito fue realizar un estudio comparativo de los tipos de lámparas existentes en el mercado y seleccionar la más adecuada para la aplicación, similarmente realizar un estudio comparativo de los tipos de módulos fotovoltaicos existentes en base a ello diseñar el sistema de iluminación autónomo para las áreas externas, basado en lámparas de bajo



consumo LED alimentadas con paneles fotovoltaicos, Analizando la eficiencia y calidad de luz de las lámparas LED; Obteniendo como resultados y conclusiones que, al realizar un estudio comparativo de los tipos de lámparas existentes en el mercado se ha seleccionado las lámparas tipo LED por presentar mayor número de horas de funcionamiento que implica menos mantenimiento, de igual manera se realizó estudio comparativo de paneles solares donde se eligió el Panel Solar para el Sistema Fotovoltaico, con Placa solar 50w policristalina, por tener una buena eficiencia 16.02%; Adicionalmente se realizó el cálculo de iluminación mediante el software DIALUX, donde observa que con el proyecto planteado, se está disminuyendo la potencia consumida de 11,900 W a 3,360 W, eso significa una reducción del 71.76% de potencia instalada de las luminarias existentes en las áreas externas del campus universitario (García, 2017).

En la tesis titulada, *Propuesta de alumbrado público por medio de celdas fotovoltaicas con luminarios tipo leds para la manga, Municipio de la Yesca en el estado de Nayarit*; explica que la tecnología fotovoltaica desempeña un papel importante en el proceso de electrificación de las zonas rurales para países en desarrollo, con el aprovechamiento de la radiación solar y generar electricidad, energía renovable y respetuosa con el medio ambiente, a diferencia de la energía producida de los combustibles fósiles; donde concluye que, el sistema proporciona un servicio en el cual el equipo puede funcionar sin falla hasta 15 años a excepción de las baterías que solamente están garantizadas por 5 años, los luminarios requieren de limpieza cada 6 meses, los postes requieren de pintura cada 2 años, logrando con esto un mejor servicio comparado con un sistema de alumbrado público convencional (Ángeles y Rosales, 2009).



La tesis titulada, *Análisis técnico económico para la optimización del sistema de iluminación de la Av. Mártires 4 de noviembre aplicando luminarias con tecnología led*; indica que, al realiza el estudio de ingeniería en iluminación de alumbrado público considerando un caso de estudio real en la Av. Mártires 4 de noviembre de la ciudad de Juliaca, realizando estudios a las luminarias vapor de sodio de alta presión instalados actualmente y como sería el cambio al usar luminarias con tecnología LED aportando recomendaciones basabas en cálculos y pruebas de ingeniería en iluminación, usando el programa Visual edición profesional y aplicando las normatividades vigentes en Perú logramos realizar los cálculos necesarios para el análisis de cada uno de los casos propuestos; Donde concluye que, las luminarias vapor de sodio de alta presión de 250W no cumplen las exigencias de la normativa, lo cual es todo lo contrario con la luminaria con tecnología Led de 112W que tiene un rendimiento óptimo, y la disminución por consumo de energía por mes por la implementación de luminaria con tecnología led es 10928.14 KWh que refleja un ahorro económico por pago de energía mensual la suma de S/ 7134.98 (Hurtado, 2017).

En la tesis titulada, *Calidad del servicio de alumbrado público e implementación de luminarias LED en vías públicas céntricas de la ciudad de puno, 2019*; Tiene como objetivo Determinar en qué medida la implementación de luminarias led influye en la calidad del servicio de alumbrado público en vías públicas céntricas de la ciudad de Puno, 2019. Donde realiza una comparación entre las luminarias de Vapor de sodio de alta presión instalados, con las luminarias LED, realizando una simulación del comportamiento de operación de luminarias convencionales de potencias 70W, 150W y 250W, con las luminarias led COB de 55W, 94W y luminaria led SMD de 140W de la marca Celsa, en cumplimiento de los parámetros de calidad, buscando determinar las potencias de las luminarias led más idóneas para cada calle de nuestra muestra; Llegando



a la conclusión que al realizar el análisis del comportamiento del consumo de energía eléctrica con ambas tecnologías en donde se determinó que ahorraría 320 309.40 kW.h, el mismo que representa el 53.61% de la energía consumida por el total de luminarias convencionales en un año (Corahua, 2019).

En el trabajo de tesis titulada, *Análisis de Iluminación e Implementación de un Sistema de Lámpara para el Alumbrado Público Basado en Tecnología LED con Control de Intensidad*; Teniendo como propósito desarrollar y caracterizar un sistema de lámpara para el alumbrado público, basado en tecnología LED con control de intensidad luminosa, determinando la mejor alternativa de lámpara LED para el alumbrado público y realizando la evaluación de la eficiencia eléctrica y lumínica, para confrontar con los sistemas de alumbrado convencional, Llegando a la conclusión de que al realizar el análisis lumínico mediante matrices en Matlab, los resultados obtenidos nos indican que se consiguió implementar una lámpara de alumbrado público del tipo P3, con una eficiencia de 228 Lumen/Watt que es superior frente a las lámparas de vapor de mercurio con 50 Lumen/Watt y de Vapor de Sodio con 90 Lumen/Watt, de la misma categoría P3; Respecto a la eficiencia, durante el desarrollo de esta tesis se logró comprobar la alta eficiencia que la tecnología LED presenta, puesto que el sistema de luminaria implementada obtuvo una eficiencia lumínica de 228 Lumen/watt, es decir, que con solo 28,5 Watt de consumo eléctrico, se logró 65 000 lúmenes de flujo luminoso (Ticona, 2015).

En el trabajo de investigación titulada, *Propuesta para la implementación del sistema led para la iluminación pública en Antioquia*; concluye que, la mayoría de países del mundo están apostándole a la tecnología LED para el alumbrado público debido a los grandes beneficios que esta presenta en cuanto al consumo energético, larga vida útil,



calidad de la iluminación y escasa o nula presencia de componentes contaminantes en su cuerpo (López, 2009).

En el seminario de, *Avances Tecnológicos en el Alumbrado Público* desarrollado en 2013, concluye que Actualmente todos los grandes fabricantes de sistemas de iluminación apuestan por esta tecnología que será la principal fuente de luz del futuro (OSINERGMIN, 2013).

En la tesis titulada, *Mejoramiento del sistema del alumbrado público de una arteria de circulación vehicular de la ciudad de Cuenca, mediante la sustitución por tecnología LED*; donde, tiene como objetivo, Analizar técnica y económicamente una alternativa tecnológica como la LED, para el mejoramiento del sistema del alumbrado público de una arteria de circulación vehicular de la ciudad de Cuenca; llegando a la conclusión de que la alternativa tecnológica LED presentada en este estudio, produce un ahorro de energía y de emisiones de CO₂ del 51% que la convencional (Lojano y Orellana, 2014).

En el proyecto de tesis: *Propuesta de alumbrado con iluminación tipo LED y paneles fotovoltaicos estacionamiento de la DAE (Dirección de la Administración Escolar) del I.P.N.*; que tuvo como objetivo, proponer un sistema de iluminación en el estacionamiento de la DAE (Dirección de Administración Escolar), por medio de tecnología LED alimentadas por paneles fotovoltaicos, para brindar una iluminación de eficiencia y garantizar mayor seguridad a sus usuarios basándonos en la Norma NOM-013-ENER-2013 Ynom-025-stps-2008; donde, llega a la conclusión que según los cálculos de iluminación del establecimiento de la DAE, los cuales nos arrojan un promedio de 20.49lx, lo cual sobrepasa los límites establecidos por la normativa establecida por la secretaria de energía y la secretaria de trabajo y prevención social, con



esto se demuestra que la iluminación propuesta en el presente trabajo es aceptable (Guerrero y Vázquez, 2016).

La crisis energética que viene afectado al mundo durante los últimos años, se plantea a los técnicos e ingenieros la necesidad de buscar alternativas tendientes al ahorro de energía en actividades tan sencillas como la de la iluminación pública, la misma que sin requerir un enfoque magistral, si es tratada a profundidad puede determinar soluciones que representan ahorro de recursos económicos, tan necesarios para el desarrollo del sector eléctrico y lo que es fundamental disminuir el consumo de energía, lo cual en épocas de crisis, resulta imperativo (TECNOLOGIAS, 2015).

El proyecto de tesis, *Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP*, se tiene como principal objetivo es fomentar el interés e investigación en energía renovable por parte de la comunidad con estudios superiores, mediante el diseño de un sistema fotovoltaico aislado para abastecer a 15 computadoras portátiles en la PUCP; Donde concluye que si no se toman en cuenta incentivos económicos gubernamentales o institucionales por generación de energía limpia, el proyecto no será rentable económicamente, sin embargo el proyecto no debe ser una decisión netamente económica; se deben toman en cuenta varios factores como la Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), Fomentar el interés del uso e investigación de los recursos energéticos renovables (RER), Estrategia de marketing institucional, adaptación para ser utilizado como un laboratorio experimental, donde los alumnos puedan acceder a registros históricos de datos de generación de energía fotovoltaica, y obtengan experiencia práctica del funcionamiento y capacidad de la misma (Valdiviezo, 2014).



2.2 SUSTENTO TEÓRICO

2.2.1 Iluminación

El ser humano por naturaleza tiene impresiones sensoriales ópticas lo cual nos dice que la iluminación en su vida es de gran importancia y necesidad para realizar todas sus actividades. Del latín LUX, la luz es el agente físico que permite que los objetos sean visibles; Por esto el hombre ha tenido que recurrir a fuentes de luz artificial que iluminen sus noches y hagan posible el desempeño de actividades que sin luz no serían posibles (Halliday y Resnick, 1999).

Hoy en día la iluminación exterior como es el alumbrado público, no sólo tiene que ver con el hecho de poder realizar actividades nocturnas, sino con el hecho de brindar seguridad al transeúnte, en el sentido que éste sea capaz de percibir obstáculos o peligros en la interacción con otros seres que se encuentren a su alrededor (García, 2017).

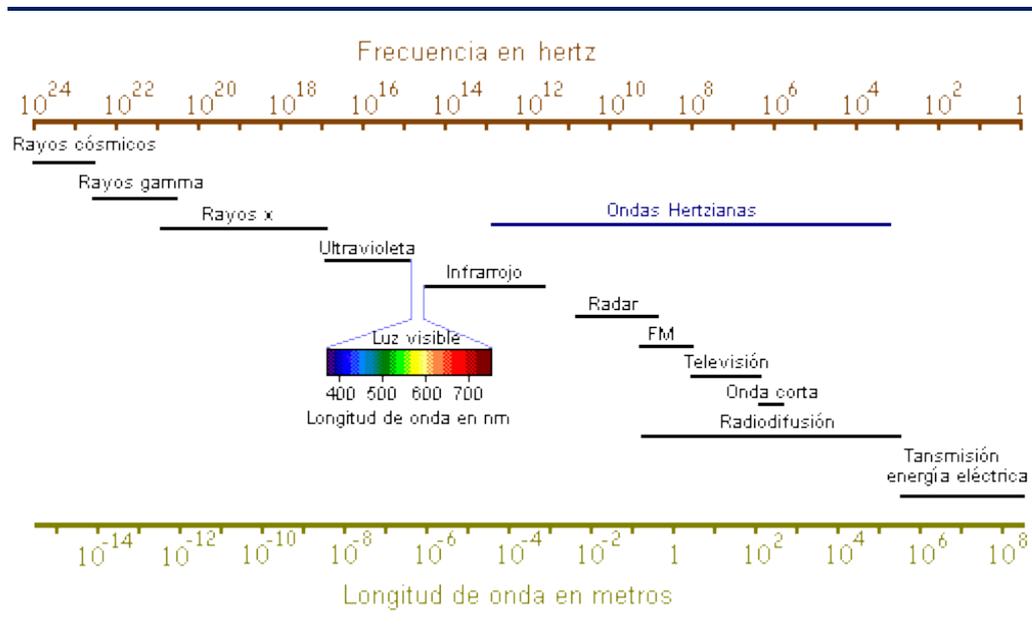
La instalación de un sistema de iluminación tiene que ver con muchos factores que garanticen el confort visual del observador, por ello a continuación se definirán conceptos importantes y aspectos que se deben tomar en cuenta al instalar un sistema de iluminación (Salavarría, 2016).

- **Luz**

La luz es un conjunto de radiaciones electromagnéticas al cual el ojo humano es sensible; La sensibilidad del ojo humano varía para cada individuo, pero típicamente un individuo puede observar la radiación de longitud de onda entre 380nm (Luz Violeta) y 780nm (Luz Roja), esto corresponde a una pequeña porción del espectro electromagnético

que se encuentra entre las radiaciones ultravioletas y las infrarrojas denominada Luz Visible (García, 2017).

Figura 1: Espectro Electromagnético



FUENTE: Adaptado de Recursos citcea UPC,

(https://recursos.citcea.upc.edu/llum/luz_vision/luz.html)

Los fenómenos que causan que un cuerpo emita radiaciones son básicamente dos, la Incandescencia y la Luminiscencia, se llama Incandescencia a la capacidad que tienen algunos cuerpos de emitir luz al ser calentados; teniendo, como ejemplo de luz incandescente, el Sol, la llama de fuego, la lámpara incandescente, algo que emana calor; por el contrario, la Luminiscencia es la capacidad de emisión de luz sin intervención de la temperatura; En este caso, la emisión es el resultado de la excitación de los átomos del cuerpo radiante a través de fenómenos como una descarga eléctrica o una radiación ultravioleta entre otros, ejemplos de Luminiscencia son los relámpagos y las lámparas de vapores metálicos (Halliday y Resnick, 1999).

- **Propiedades de la luz**

Cuando un rayo de luz encuentra un obstáculo en su camino choca contra la superficie de este y una parte es reflejada. Si el cuerpo es opaco, el resto de la luz será absorbida; si es transparente, una parte será absorbida y la otra atravesará el cuerpo, transmitiéndose (Flores, 2016): De esta manera clasificamos en cuatro fenómenos diferentes:

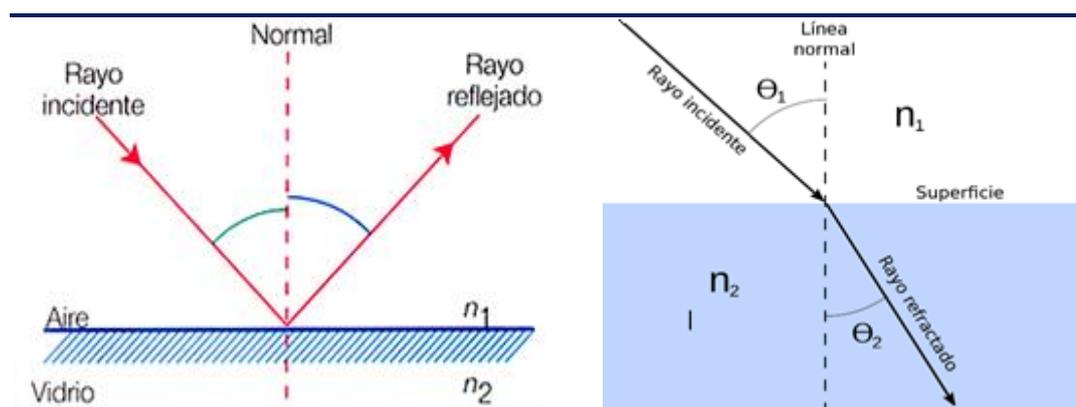
a) **Reflexión:**

Se presenta cuando un rayo de luz choca contra la superficie de separación de dos medios diferentes, ya sean gases, líquidos o sólidos, donde la luz cambia de sentido y dirección (“Obralux Luminotecnia”, 2013).

b) **Refracción:**

Sucede cuando la luz es desviada de su trayectoria recta al atravesar la superficie de separación entre dos medios diferentes.

Figura 2: Propiedad de Reflexión y Refracción de la Luz

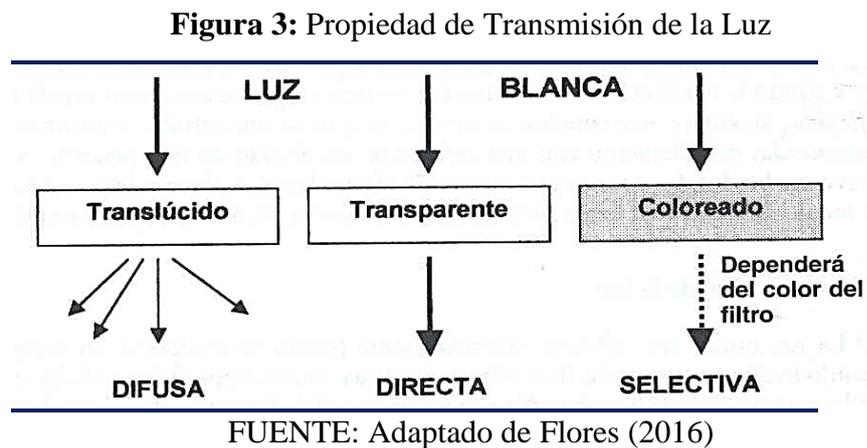


FUENTE: Adaptado de Recursos citcea UPC,

(https://recursos.citcea.upc.edu/llum/luz_vision/luz.html)

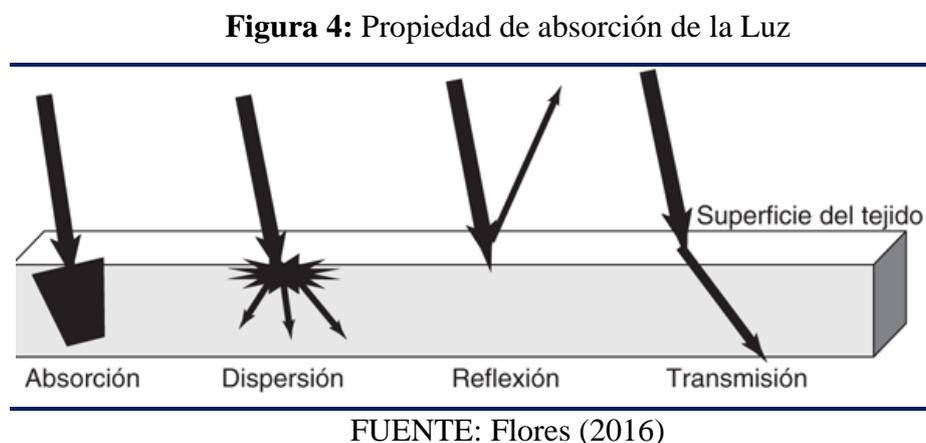
c) **Transmisión:**

Este fenómeno se presenta cuando la luz cambia de dirección al atravesar un medio sólido, líquido o gaseoso y seguidamente vuelve a cambiar su dirección al salir de este medio (Flores, 2016).



d) **Absorción:**

Sucede cuando la luz blanca choca con un objeto. La luz reflejada por dicho objeto es la que el ojo percibe como color, mientras que el resto de los componentes de la luz son absorbidos, de esta manera, si el objeto refleja todos los componentes de la luz veremos a dicho objeto blanco; Por el contrario, si los absorbe todos lo veremos negro (“Obralux Luminotecnia”, 2013).





- **Propiedades Cromáticas de la Luz.**

Para medir las características cromáticas de una determinada fuente lumínica se estudian dos propiedades:

Temperatura de Color (Tc).

Es una medida para indicar el color de una fuente de luz por comparación de la misma con el color de la luz emitida por un cuerpo negro, es decir indica la temperatura en grados Kelvin ($^{\circ}\text{K}$), a la cual el cuerpo negro emite luz de color similar al de la fuente de luz que se está estudiando (“Obralux Luminotecnia”, 2013).

Existe una convención que establece una equivalencia entre la Temperatura de Color y la Apariencia de Color (Ver Tabla 1), esta última se refiere a la sensación que produce el color de la luz en la persona que la está percibiendo, tradicionalmente los colores se clasifican de forma general en colores cálidos y fríos, donde los colores cálidos son los amarillos, naranjas, rojos y verdes claros, y los colores fríos son los colores violetas, azules y verdes oscuros (Fernández, 2014).

Tabla 1: Apariencia de color vs Temperatura de color

Apariencia de Color	Temperatura de Color
Cálido	2700 - 3300
Intermedio	3300 - 5300
Frio	> 5300

FUENTE: Adaptado de, Berges (2015).

Índice de Rendimiento Cromático (IRC)

“Es la medida de correspondencia entre el color real de un objeto y la veracidad del mismo bajo determinada fuente lumínica” (Berges, 2015).

Para medir este valor lo que se hace es tomar como color real del objeto el que produce el mismo al ser iluminado por una fuente de luz de referencia, y luego éste es relacionado con el color del objeto al ser iluminado por la fuente de luz en estudio; El índice de rendimiento cromático es expresado por un número que puede estar entre 0 y 100, siendo 100 el valor para el cual el color del objeto iluminado, por la fuente en estudio, es igual o muy similar a su color real, En la Tabla 2 se muestran los valores de IRC para las fuentes de luz más comunes (“Obralux Luminotecnia”, 2013).

Tabla 2: Índice de rendimiento cromático de acuerdo a la fuente de luz

Fuente de Luz	Índice de Rendimiento Cromático
Cielo Azul	85 – 100
Cielo Nublado	85 – 100
Luz Solar Día	100
Lámpara incandescente	100 (Referencia)
Lámpara Luz Mixta	60
Lámpara Vapor de Mercurio	45 – 60
Lámpara Metal Halide	60 – 97
Lámpara Sodio Alta Presión	21 – 25
Lámpara Sodio Baja Presión	0 (Monocromático)
Lámpara Fluorescente	65 – 97
Lámpara LED	80 – 95

FUENTE: Adaptado de, Obralux Luminotecnia (2013).

2.2.2 Magnitudes y unidades luminosas

La luz es solo una de las varias formas de energía que existen. No toda la luz emitida por una fuente llega al ojo y produce sensación luminosa (visible), ni toda la energía que consume un bombillo, se convierte en luz; Es por ello que se expresan ciertas

magnitudes como: Flujo Luminoso, Intensidad Luminosa, Iluminancia y Luminancia (García y Oriol, 2021).

2.2.2.1 Flujo luminoso (Φ):

“Es la potencia lumínica emitida en forma de radiación luminosa, a la que el ojo humano es sensible, donde su símbolo es el Φ y su unidad es el lumen (lm)” (García y Oriol, 2021).

Tabla 3: Flujo luminoso de acuerdo al tipo de lámpara

Tipo de Lámpara	Flujo Luminoso (lm)
Lámpara Standard 100W	1380
Fluorescentes 40W	3200
Mercurio 400W	23000
Metal Halide 400W	35000
Sodio Baja Presión 180W	33000
Sodio Alta Presión 400W	48000
LED 50W	>5000

FUENTE: Obralux Luminotecnia (2013).

2.2.2.2 Intensidad luminosa (i):

La intensidad luminosa de una fuente de luz en una determinada dirección es igual a la relación entre el flujo luminoso contenido en un ángulo sólido cualquiera, cuyo eje coincida con la dirección considerada y el valor de dicho ángulo sólido (ω) expresado en estereorradianes (Corahua, 2019).

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \dots \dots \dots [cd = lm/sr] \dots \dots (cd: Candela)$$

2.2.2.3 Iluminancia (e):

“Es el flujo luminoso recibido por una superficie, su símbolo es E y su unidad es *Lux* (lx) que es un lm/m^2 ” (García y Oriol, 2021).

La iluminancia es un dato muy importante que cuantifica el nivel de iluminación que existe en el ambiente de trabajo, en la superficie de un recinto, en el parque, en una calle y todo lo que requiere iluminación, para lo cual el presente proyecto de iluminación se diseñara en base al Reglamento Nacional de Edificaciones sección III.4; Instalaciones eléctricas y mecánicas y la Norma Técnica DGE (“Alumbrado De Vías Públicas En Zonas De Concesión De Distribución”, 2002). (MINEM, 2002).

$$E = \frac{\Phi}{S} \dots \dots \dots (lx: Lux)$$

Tabla 4: Iluminancia según los ambientes

Lugar	Iluminancia (lx)
Mediodía de verano al aire libre	100000
Puesto de trabajo bien iluminado	1000
Buen alumbrado público	20 a 40
Noche luna llena	0.25
Noche luna nueva (luz de estrellas)	0.01
Buena iluminación oficina	500

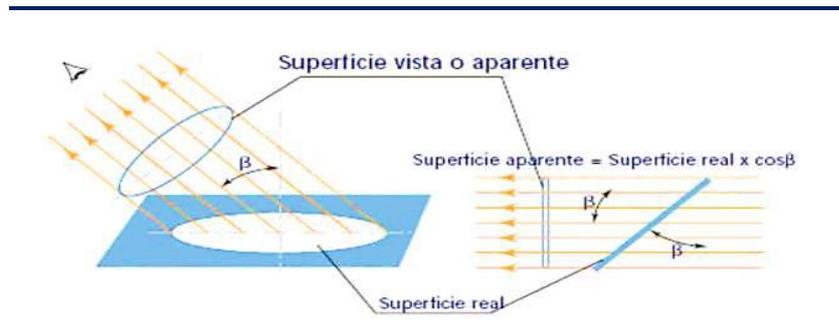
FUENTE: Obralux Luminotecnia (2013).

2.2.2.4 Luminancia (l):

Es la relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente vista por el ojo en una dirección determinada; Su símbolo es L y su unidad es la cd/m^2 (García y Oriol, 2021).

$$L = \frac{I}{S_{APA}} \dots \dots \dots (cd/m^2)$$

Figura 5: Luminancia de una Superficie



Nota. Adaptado de, García (2017).

2.2.2.5 Eficacia lumínica (η):

Flujo que emite la fuente de luz (Φ) por cada unidad de potencia eléctrica (W) consumida para su obtención (García y Oriol, 2021).

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \dots \dots \dots (lm/W)$$

2.2.2.6 Deslumbramiento

El deslumbramiento producido por las luminarias o los reflejos en la calzada, es un problema que produce una sensación molesta que dificulta la visión pudiendo, en casos extremos, llegar a provocar ceguera transitoria; Se hace necesario, por tanto, cuantificar este fenómeno y establecer unos criterios de calidad que eviten estas situaciones peligrosas para los usuarios. (Corahua, 2019).

Se llama deslumbramiento molesto a aquella sensación desagradable que sufrimos cuando la luz que llega a nuestros ojos es demasiado intensa; Este fenómeno, se evalúa de acuerdo a una escala numérica, obtenida de estudios estadísticos, que va del deslumbramiento insoportable al inapreciable (García y Oriol, 2021).

Tabla 5: Índice de deslumbramiento

G	Deslumbramiento	Evaluación del Alumbrado
1	Insoportable	Malo
3	Molesto	Inadecuado
5	Admisible	Regular
7	Satisfactorio	Bueno
9	Inapreciable	Excelente

FUENTE: García y Oriol (2021).

Actualmente no se utiliza mucho la escala de deslumbramiento G, porque al no exceder los límites del deslumbramiento perturbador este, está bajo control.

El deslumbramiento perturbador se produce por la aparición de un velo luminoso que provoca una visión borrosa, sin nitidez y con poco contraste, que desaparece al cesar su causa; No obstante, este fenómeno no lleva necesariamente asociado una sensación incómoda como el deslumbramiento molesto; Para evaluar la pérdida de visión se utiliza el criterio del incremento de umbral (TI) expresado en tanto por ciento (García y Oriol, 2021). Considerando en el proyecto el (TI) entre 5% a 15%, según los requerimientos de la vía.

$$TI = 65 \times \left(\frac{L_v}{L_m^{0.5}} \right)$$

Dónde: L_v es la luminancia de velo equivalente y L_m es la luminancia media de la calzada.

2.2.2.7 Coeficiente de iluminación en los alrededores

El coeficiente de iluminación en los alrededores (Surround Ratio, SR) es una medida de la iluminación en las zonas limítrofes de la vía; de esta manera se asegura que



los objetos, vehículos o peatones que se encuentren allí sean visibles para los conductores.

SR se obtiene calculando la iluminancia media de una franja de 5 m de ancho a cada lado de la calzada (Corahua, 2019).

2.2.3 Definición de alumbrado público

El alumbrado público es un servicio colectivo que consistente en la iluminación de vías públicas, parques y demás espacios de libre circulación que no se encuentren a cargo de ninguna persona natural o jurídica de derecho privado o público, con el objeto de proporcionar la visibilidad adecuada para el normal desarrollo de las actividades (Hurtado R., 2017).

- Objetivos del alumbrado público

El objetivo del Alumbrado público es proporcionar condiciones de iluminación que generen sensación de seguridad a los peatones y una adecuada visibilidad a los conductores de vehículos en zonas con alta circulación peatonal cumpliendo este propósito en condiciones medio ambientales de cada zona o lugar (Hurtado R., 2017), de esa manera:

- Incrementar la seguridad individual y colectiva en las vías públicas.
- Brindar confort y tranquilidad.
- Brindar una clara visualización de configuración geométrica, obstáculos y superficie de la vía que están transitando.
- Disminuir los accidentes viales.
- Contribuir en la disminución de las acciones vandálicas.



2.2.4 Lámparas

Una lámpara es un elemento capaz de transformar energía eléctrica en radiación electromagnética visible (luz), Esta transformación se puede lograr utilizando alguno de los dos fenómenos que son, la Incandescencia o Luminiscencia (García, 2017).

2.2.4.1 Criterios que definen el rendimiento de una lámpara

Se tiene diferentes criterios para seleccionar una lámpara que cumpla una aplicación en particular, estos son:

- **Color y Calidad de Reproducción Cromática**

Para iluminación de lámparas, el color representa a la temperatura de color de la lámpara, y la calidad de reproducción cromática representa a la reproducción real del color también se cuantifica como el índice de rendimiento cromático.

- **Vida media**

Es el tiempo de funcionamiento, en horas que tardan en fallar, determinado de un 50% de una muestra de lámparas del mismo tipo y modelo, que son puestas a pruebas.

- **Vida útil de la lámpara**

La vida útil de una lámpara es la cantidad tiempo (horas) en operación, donde el flujo luminoso emitido ha disminuido a un punto en la que la lámpara ya no resulta útil, a pesar de que siga emitiendo luz. (Hurtado, 2017).

- **Eficiencia**

La eficiencia es la cantidad de lúmenes, o potencia lumínica, que la lámpara emite por cada Vatio de potencia que se le suministra, por consiguiente, se mide en lm/W;



Mientras más sean los lúmenes por vatio producidos más eficiente será la lámpara (García, 2017).

- **Tiempo de encendido**

Algunos tipos de lámparas como las incandescentes, emiten el 100% de su capacidad desde el momento en el que son encendidas, similarmente las de LED; Sin embargo, otros tipos de lámparas como las fluorescentes y las de descarga requieren un tiempo para alcanzar su máximo nivel de flujo luminoso, por esto, se hace necesario definir el concepto de tiempo de encendido, que es el tiempo en el que una lámpara logra alcanzar el 80% de su máxima capacidad de producción de luz; Este parámetro se debe tomar en cuenta al momento de elegir una lámpara para aplicaciones en las que el tiempo de encendido es un parámetro crítico (Hurtado, 2017).

- **Posibilidad de reencendido inmediato**

El reencendido es la capacidad de encender una lámpara inmediatamente después de que ha sido apagada, emitiendo su máximo flujo luminoso; Las lámparas que cumplen con esta condición son las de LED y las incandescentes, el resto requieren un tiempo de reencendido. (García, 2017).

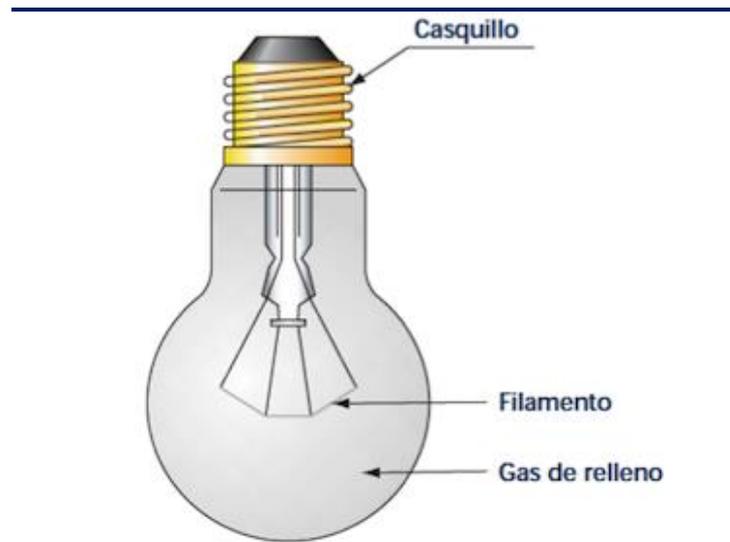
2.2.4.2 Principales tipos de lámparas

En la actualidad se tiene una variedad en tipos de tecnologías de lámparas, donde de acuerdo a sus características tienen aplicaciones según el requerimiento, condición o disponibilidad. A continuación, se describen las más utilizadas.

- **Lámparas incandescentes**

Su funcionamiento se basa en el paso de una corriente por un filamento que puede ser de wolframio o tungsteno produciéndose altas temperaturas emitiendo radiación dentro del espectro visible (Fernández, 2016).

Figura 6: Lámpara Incandescente.



FUENTE: Herrera (2018)

- Lámparas de vapor de mercurio

Su funcionamiento está basado en ionizar la mezcla de gases emitiendo fotones en el rango de luz infrarroja, este procedimiento se realiza al hacer pasar una corriente limitada por el balastro utilizando dos electrodos que pueden ser de tungsteno o wolframio, el recubrimiento del tubo con fosforo u fluorescente es para transformar la radiación infrarroja en radiación en el rango del espectro visible Podemos encontrar dos tipos de bombillas de este tipo (Herrera, 2018).

Lámpara de vapor de mercurio de baja presión.- Su implementación requiere presiones de trabajo en el rango de 0.8Pa para la mezcla de gas mercurio y gases nobles (Herrera, 2018).

Una de sus características es generar un bajo consumo energético y su eficiencia luminosa es mejor que las lámparas incandescentes sin embargo su baja reproducción de color y una vida útil promedio de entre 5000 y 7000 horas son sus principales desventajas (Benjumea, 2009).

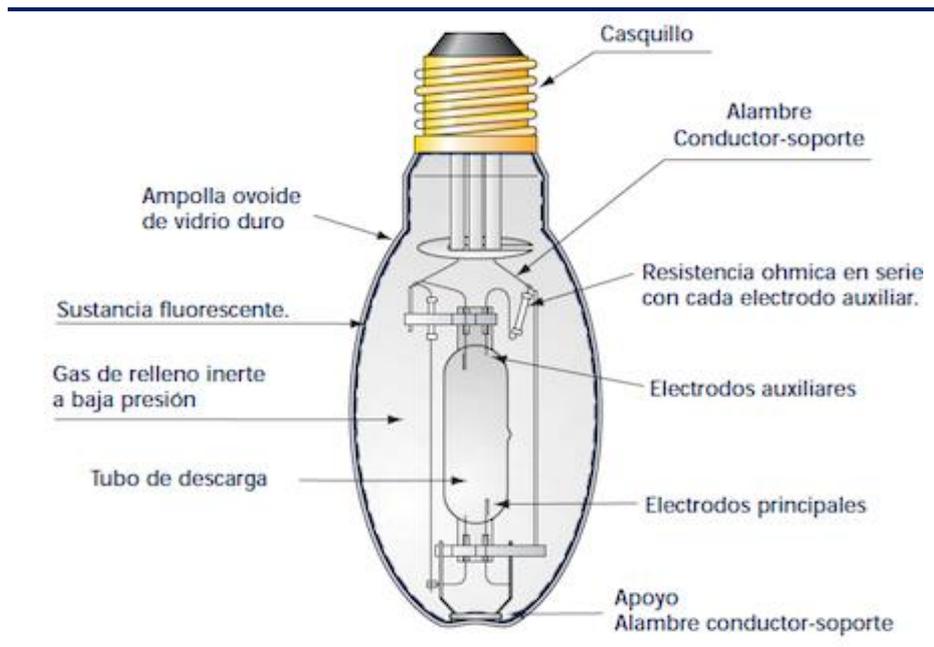
Figura 7: Lámpara de vapor de mercurio de baja presión



Nota. Adaptado de, Benjumea, (2009)

Lámparas de vapor de mercurio de alta presión.- Su implementación tuvo como objetivo mejorar las características como el índice de reproducción cromática (40-45), la temperatura de color (3500-4000k), la eficiencia lumínica (40-60lm/w) y tiempo de vida útil (8000hrs) esto debido al aumento de presión del vapor de mercurio originando radiación visible y ultravioleta, ésta última debe ser recubierta con polvo fluorescente para convertirla en radiación visible. (Herrera, 2018).

Figura 8: Lámpara de Mercurio a Alta Presión.



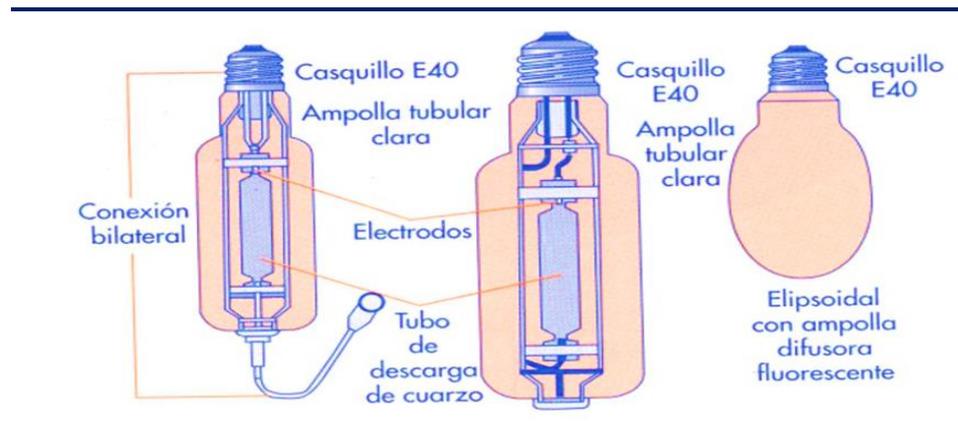
FUENTE: Herrera, (2018)

- Lámparas de halógeno metálico

Al respecto, Benjumea (2009) señala, con el afán de mejorar la reproducción de color en las lámparas de vapor de mercurio se añaden sustancias como los yoduros metálicos (sodio, talio, indio, etc.) generando mejoras en la eficiencia (60 a 96lm/w), vida útil (10 000hrs), temperatura de color (3000 a 6000k) e índice de reproducción (65 a 85) (Benjumea, 2009).

Para su encendido necesitamos una tensión de arranque muy elevada entre los 1500 a 5000 V, sin embargo, una de sus desventajas es la demora en la emisión de luz un aproximado de 10min (Herrera, 2018).

Figura 9: Lámpara de Halógeno arranque alto.



FUENTE: Herrera, (2018)

- Lámpara Metal Halide

Son lámparas que contienen un tubo de descarga relleno de mercurio a alta presión y compuesto por una mezcla de halogenuros metálicos tales como el Dysprosio (Dy), Holmio (Ho) y Tulio (Tm), los cuales permiten obtener rendimientos luminosos más elevados y mejores propiedades de reproducción cromática que las mismas lámparas de mercurio, entre sus características tenemos: Alta eficiencia, excepcional rendimiento de color y buen mantenimiento de lúmenes; Utiliza equipos auxiliares tales como balasto, arrancador y condensador (“Obralux Luminotecnia”, 2013).

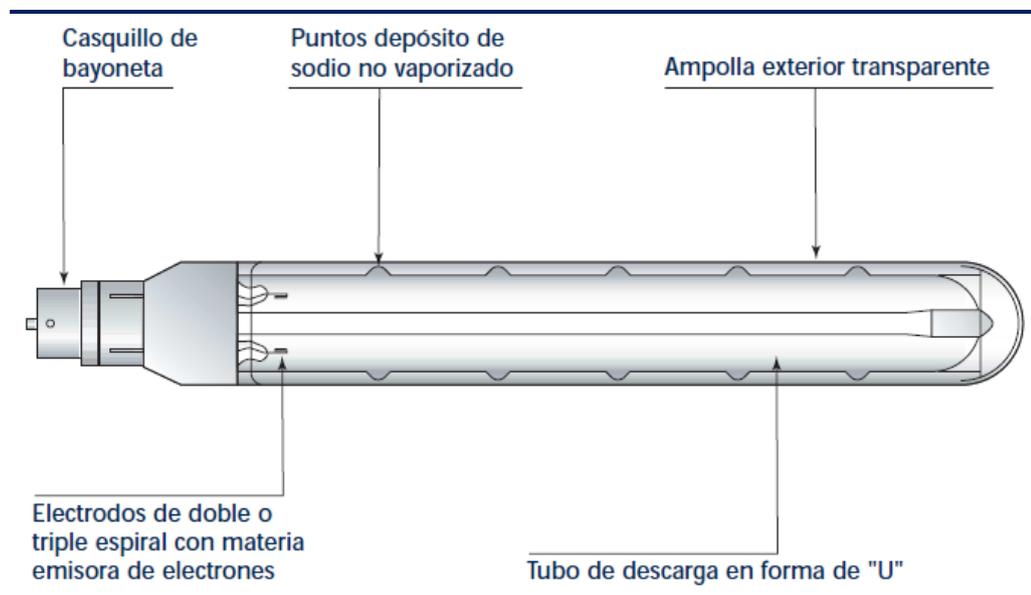
- Lámpara de Vapor de Sodio de Baja Presión.

Son lámparas de descarga cuyo principio de funcionamiento es similar a las lámparas de vapor de mercurio a baja presión, se basa en inyectar una corriente por un filamento de tungsteno o wolframio para ionizar el vapor de sodio metálico junto con los gases inertes, liberando fotones (Herrera, 2018).

La descarga se produce en un tubo en forma de U, para aprovechar espacio, hecho de un vidrio especial cubierto interiormente de una capa resistente al sodio:

En su interior contiene sodio metálico de alta pureza y otros gases que ayudan el proceso de arranque; El tubo de descarga está en el interior de una ampolla, entre el tubo y la ampolla hay vacío lo cual asegura la estabilidad térmica del tubo; la radiación de esta lámpara es una luz amarilla monocromática, por lo que la capacidad de reproducción de color de esta lámpara es muy baja, sin embargo, es la lámpara más eficiente que existe pudiendo alcanzar 200 lm/W, y además posee una larga vida (Herrera, 2018). Requieren de un balasto, un ignitor y un condensador como equipo auxiliar.

Figura 10: Lámpara de vapor de sodio baja presión

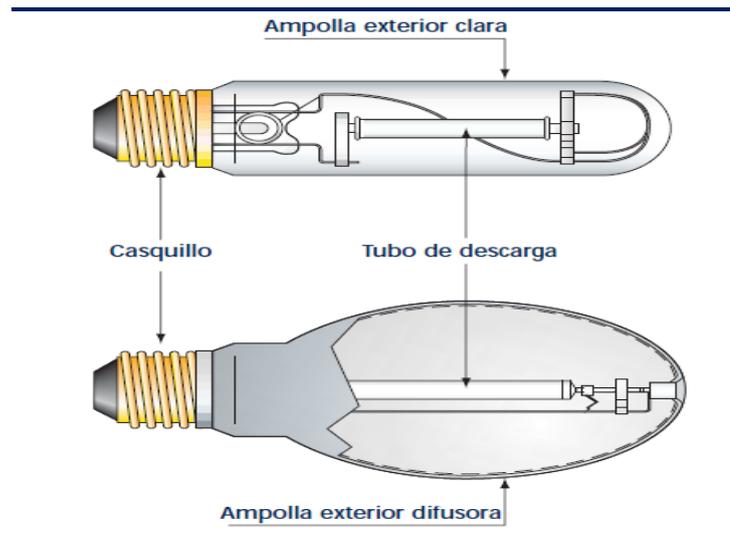


FUENTE: Ibañez (2018)

- Lámpara de Vapor de Sodio Alta presión.

Por las propiedades reactivas del sodio, el tubo de descarga es fabricado de un aluminio sintetizado muy resistente, y se encuentra al vacío en el interior de una ampolla de vidrio, lo cual evita la oxidación; la ampolla de vidrio puede ser de forma ovoidal o tubular, la primera tiene la particularidad de tener un revestimiento interno de polvo blanco con la finalidad de disminuir el alto brillo del tubo de descarga (Herrera, 2018).

Figura 11: Lámpara de Sodio a Alta Presión

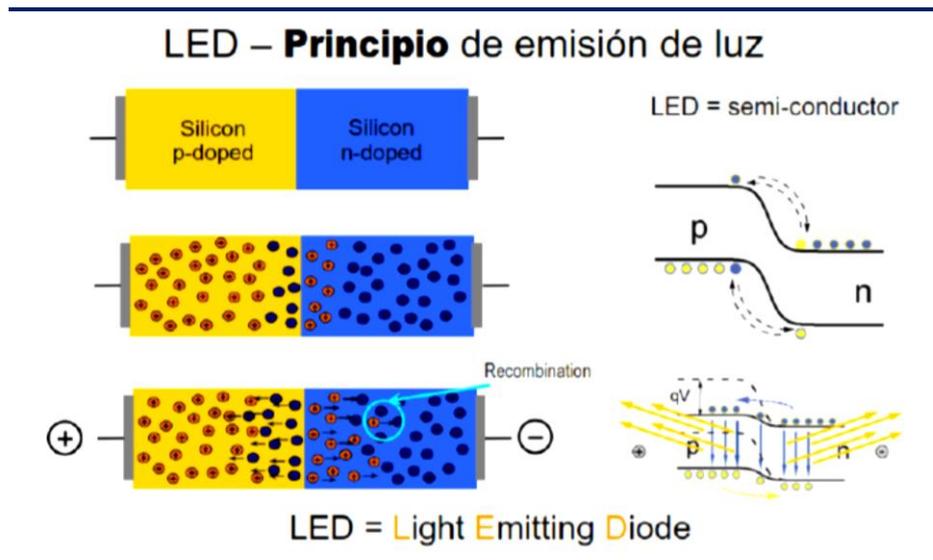


FUENTE: Ibañez, (2018)

- Lámpara LED (Light Emitting Diode)

La generación de luz en un diodo LED está basado en la polarización directa de las uniones P-N, esta polarización se genera al colocar un potencial de mayor valor en la unión P y uno de menor en la unión N, generando el paso de electrones que llega primero a la unión N y esta genera un mayor flujo de electrones reduciendo la barrera que separan las uniones y produciendo el salto de electrones libres de la unión N hacia los huecos de la unión P, estos saltos liberan energía en forma de fotones a su vez radiación electromagnética en el rango del espectro visible (Herrera, 2018, p.11).

Figura 12: Principio de funcionamiento de los LED



FUENTE: Herrera, (2018)

El tipo de luz que puede generar un LED está basado en la mezcla de diversos materiales de semiconductores que a su vez requieren de componentes externos como son lentes para concentrar o expandir la luz así como disipadores para distribuir el calor (Berges, 2015).

Figura 13: Lámpara LED



FUENTE: Berges, (2015).

2.2.5 Luminarias

Son aparatos destinados a alojar, soportar y proteger la lámpara y sus elementos auxiliares además de concentrar y dirigir el flujo luminoso de esta; Para ello, adoptan diversas formas, aunque en alumbrado público predominan las de flujo asimétrico con las que se consigue una mayor superficie iluminada sobre la calzada; donde, las podemos encontrar montadas sobre postes, columnas o suspendidas sobre cables transversales a la calzada, en catenarias colgadas a lo largo de la vía o como proyectores en plazas y cruces (Avalos & Vargas, 2012).

Se define luminaria como:

Aparato de alumbrado que reparte, filtra o transforma la luz emitida por una o varias lámparas y que comprende todos los dispositivos necesarios para el soporte, la fijación y la protección de lámparas, (excluyendo las propias lámparas) y, en caso necesario, los circuitos auxiliares en combinación con los medios de conexión con la red de alimentación (“Indalux Luminotecnia”, 2002).

Los elementos generales que conforman una luminaria son:

- **Armadura o Carcasa**

Es el encapsulado en el que se aloja la lámpara con todos sus elementos y equipos auxiliares donde existen muchos tipos de acuerdo a la aplicación: de interiores o exteriores, empotradas o de superficie, de pared, para brazo o poste (“Indalux Luminotecnia”, 2002).



- **Equipo Eléctrico**

Son equipos auxiliares que son requeridos por la lámpara para adaptarse adecuadamente a la red de alimentación donde el equipo eléctrico depende del tipo de lámpara (“Indalux Luminotecnia”, 2002):

- Incandescentes convencionales: No requieren de equipo auxiliar
- Halógenas de bajo voltaje: requieren transformador o fuente electrónica
- Fluorescentes y de descarga en general: requieren balasto, condensador e ignitor
- LED: requiere de fuente eléctrica o Driver, placa base.

- **Reflectores**

Son superficies que reflejan la luz, el cual se coloca en el interior de la luminaria que tienen como función modelar la forma y dirección del flujo emitido por la lámpara (Lara, 2009).

- **Difusores**

Es el elemento de cierre o tapa de la luminaria en la dirección de radiación; Tiene como objetivo permitir la difusión de la luz emitida por la lámpara al exterior, mientras la protege del mismo (Hurtado, 2017).

- **Filtros**

Tienen como función incrementar o atenuar algunas características de la radiación con la finalidad de asegurar el confort visual del observador (“Indalux Luminotecnia”, 2002).

2.2.5.1 Clasificación de las Luminarias.

Para la clasificación de luminarias se consideran algunos aspectos y criterios entre los más comunes son: por sus características eléctricas mecánicas y ópticas.

- Según las Características Eléctricas

“Esta clasificación es el grado de protección eléctrica que ofrece la luminaria a los usuarios, de acuerdo al grado de aislamiento eléctrico las luminarias se clasifican en cuatro clases” (“Manual de iluminación vial”, 2015). Así como se muestra en la Tabla 6:

Tabla 6: Clases de Luminarias según su Protección Eléctrica

Clase	Símbolo	Protección
0		Aislamiento básico
I		Aislamiento básico más conector protector toma de tierra
II		Aislamiento doble o reforzado, sin provisión de toma de tierra de protección
III		Alimentación de muy baja tensión de seguridad (50V)

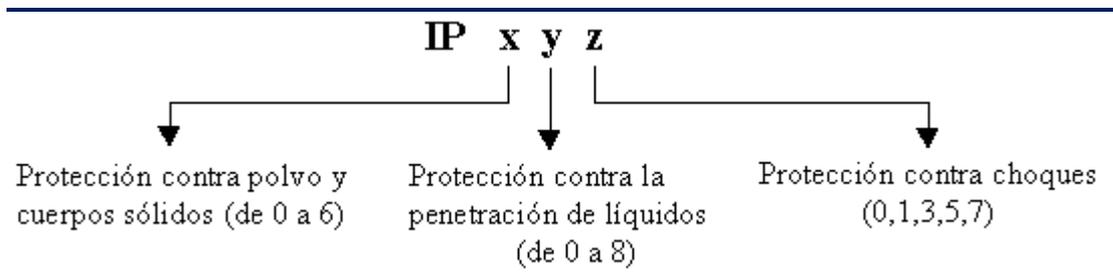
FUENTE: Adaptado de, Manual de iluminación vial (2015).

- Según las Características Mecánicas

Las Características mecánicas de la luminaria definen su grado de protección contra golpes, polvo y líquidos; Para introducir cada luminaria dentro de esta clasificación se le asigna como parámetro las letras IP seguidas de tres dígitos, el primer dígito representa la protección contra entrada de polvo y sólidos, puede estar entre 0 y 6, donde 0 representa protección nula y 6 máxima protección; El segundo dígito se refiere a la protección contra entrada de líquido y puede estar entre 0 y 8, finalmente el tercer dígito

es el grado de resistencia a golpes y puede tener los valores de 0, 1, 3, 5 y 7 (García, 2017).

Figura 14: Características Mecánicas de las Luminarias



FUENTE: Manual de iluminación vial (2015).

Tabla 7: Grados de protección IP contra agentes sólidos

Cifra	Grado de Protección Descripción abreviada	Indicación breve sobre los objetos que no deben penetrar en la envoltente
0	No protegida	sin protección particular
1	Protegida contra los cuerpos sólidos de más de 50 mm	Cuerpo sólidos con un diámetro superior a 50 mm
2	Protegida contra los cuerpos sólidos de más de 12 mm	Cuerpo sólidos con un diámetro superior a 12 mm
3	Protegida contra los cuerpos sólidos de más de 2.5 mm	Cuerpo sólidos con un diámetro superior a 2.5 mm
4	Protegida contra los cuerpos sólidos de más de 1 mm	Cuerpo sólidos con un diámetro superior a 1 mm
5	Protegida contra la penetración de polvo	No se impide totalmente la entrada de polvo, pero sin que el polvo entre en cantidades suficientes que llegue a perjudicar el funcionamiento satisfactorio del equipo
6	Totalmente estanco al polvo	Ninguna entrada de polvo

FUENTE: Adaptado de, Manual de iluminación vial (2015).

Tabla 8: Grados de protección IP contra agua

Cifra	Grado de Protección	
	Descripción abreviada	Tipo de protección proporcionada por la envolvente
0	No protegida	Sin protección particular
1	Protegida contra la caída vertical de gotas de agua	La caída vertical de gotas de agua no deberán tener efectos perjudiciales
2	Protegida contra la caída de gotas de agua con una inclinación máxima de 15°	La caída vertical de gotas de agua no deberán tener efectos perjudiciales cuando la envolvente esta inclinada hasta 15° con respecto a la posición normal
3	Protegida contra lluvia fina (pulverizada)	El agua pulverizada de lluvia que cae en una dirección que forma un ángulo de hasta 60° con la vertical, no deberá tener efectos perjudiciales
4	Protegida contra las proyecciones de agua	El agua proyectada en toda las direcciones sobre la envolvente, no deberá tener efectos perjudiciales
5	Protegida contra los chorros de agua	El agua proyectada con la ayuda de una boquilla, en toda las direcciones sobre la envolvente, no deberá tener efectos perjudiciales
6	Protegida contra fuertes chorros de agua o contra el mar gruesa	Bajo los efectos de fuertes chorros o con mar gruesa, el agua no deberá penetrar en la envolvente en cantidades perjudiciales
7	Protegida contra los efectos de la inmersión	Cuando se sumerge la envolvente en agua en unas condiciones de presión y con una duración determinada, no deberá ser posible la penetración de agua en el interior de la envolvente en cantidades perjudiciales
8	Protegida contra la inmersión prolongada	El equipo es adecuado para la inmersión prolongada en agua bajo las condiciones especificadas por el fabricante

FUENTE: Manual de iluminación vial (2015).

- **Según sus Características Ópticas.**

Según sus características ópticas las luminarias se clasifican por sus características fotométricas divididas en tres parámetros:

El Alcance

Es la extensión de calzada que la luminaria es capaz de iluminar en dirección longitudinal, el cual está representada por el ángulo γ_{max} el cual es el ángulo entre 0° y el valor medio de los dos ángulos correspondientes al 90% de I_{max} , donde el alcance de

una luminaria puede ser corto, intermedio o largo (García, 2017): De acuerdo a la clasificación mostrada en la Tabla 9.

Tabla 9: Tipos de Alcance de iluminación

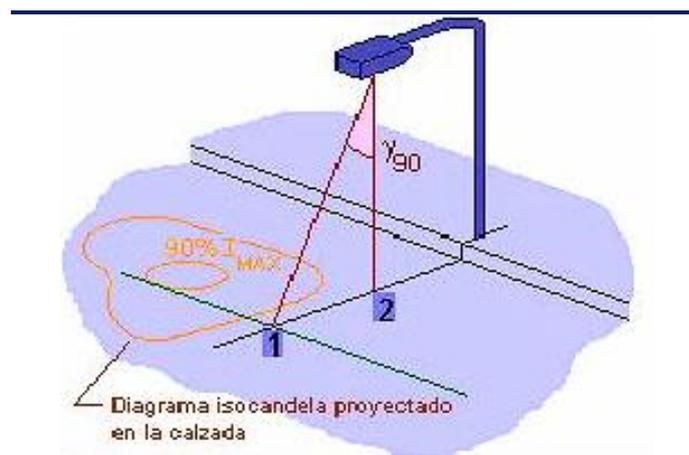
TIPO	Rango de γ_{max}
Corto	$\gamma_{max} < 60^\circ$
Intermedio	$60^\circ \leq \gamma_{max} \leq 70^\circ$
Largo	$\gamma_{max} > 70^\circ$

FUENTE: Adaptado de, Rivas, (2005).

La Apertura o Dispersión

Es la extensión de calzada que la luminaria es capaz de iluminar en dirección transversal a ésta, el cual está determinada por el ángulo γ_{90} el cual es el ángulo acotado por la recta tangente al diagrama isocandela del 90% de I_{max} proyectada en la calzada, donde la apertura puede ser estrecha, media o ancha de acuerdo a los valores mostrados en la Tabla 10 (Lara, 2009): Y como se muestra en la Figura 17.

Figura 15: Apertura Transversal



FUENTE: Tomado de,

(http://patricioconcha.ubb.cl/educ/public_www/capitulo7/seleccion_de_luminarias.html).

Tabla 10: Tipos de Apertura de alumbrado

TIPO	Rango de γ_{90}
Corto	$\gamma_{90} < 45^\circ$
Intermedio	$45^\circ \leq \gamma_{90} \leq 55^\circ$
Largo	$\gamma_{90} > 55^\circ$

FUENTE: Adaptado de, Rivas, (2005).

El Control

Es un parámetro referente al grado de deslumbramiento que produce la luminaria el cual está definido por el índice específico de la luminaria SLI (Rivas Y., 2005): Representando en la Tabla 11, los tipos de control que puede tener una luminaria.

Tabla 11: Tipos de Control de luminaria

TIPO	Rango de SLI
Limitado	$SLI < 2$
Moderado	$2 \leq SLI \leq 4$
Estricto	$SLI > 4$

FUENTE: Rivas, (2005).

2.2.6 Alumbrado público con luminarias de led

Teniendo presente que el valor a la innovación es una cualidad indispensable para mejorar la calidad de vida de las personas, en el presente proyecto aportamos con los conocimientos que puedan generar beneficios y así sus limitaciones de la tecnología de alumbrado público con luminarias LED, en conjunto con los paneles solares.

La necesidad por generar ahorros económicos más significativos, llevó a desarrollar luminarias más eficientes para alumbrado público con lámparas LED. Son



aparatos que consumen muy poca energía eléctrica para producir luz e iluminar en distintos espacios.

2.2.6.1 Introducción a los LEDs

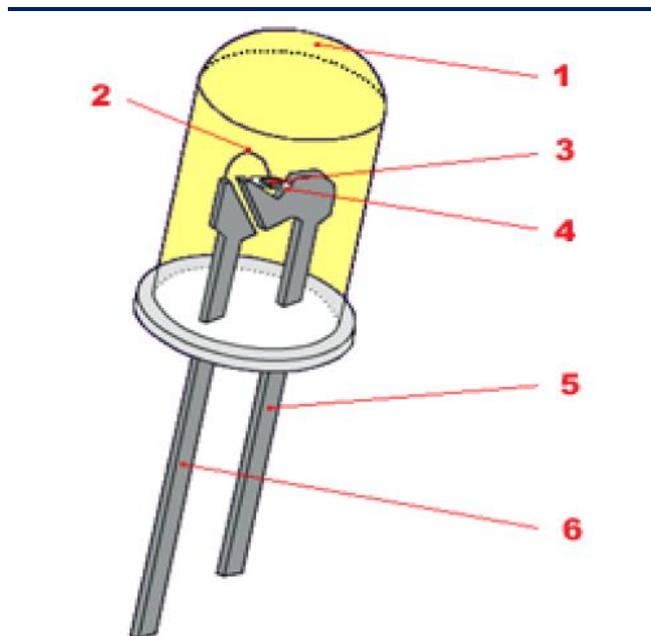
LED viene de las siglas de Light Emission Diode, (diodo de emisión de luz), son componentes electrónicos constituidos por la unión de materiales semiconductores de diferentes características, capaces de convertir la energía eléctrica directamente en energía luminosa cuando son polarizados por medio de un campo eléctrico. (Lara López et al., 2009).

Con la más nueva tecnología de lámparas con LED en el mercado, se ha creado la nueva iluminación a base de LED para exteriores, lámparas de LED para iluminar avenidas, calles, fábricas y estacionamientos grandes, obteniendo un ahorro de más del 50% y hasta el 80% de consumo de energía eléctrica, con una vida útil de más de 50,000 horas; Este tipo de iluminación con LED desplazara en poco tiempo a la llamada la iluminación vapor de sodio, ya que con la tecnología LED, se ahorra energía y esto beneficia a toda población que requiera de iluminación o luminarias de LED (Lara López et al., 2009).

El área efectiva de iluminación con LED de alta intensidad es 40 metros por 16 metros cuando la lámpara LED está colocada en un poste con una altitud de 12 metros, donde, la iluminación varia de ≥ 45 lux (altitud = 6 metros) a ≥ 11 lux (altitud = 12 metros), lo cual todavía es equivalente a 2.5 veces más que luz VSAP (Lámparas de vapor de sodio a alta presión). (Lara López et al., 2009).

2.2.6.2 Partes de un LED

Figura 16: Partes del LED



FUENTE: Lara López et al., (2009)

A continuación se describe las partes del LED (Lara López et al., 2009):

- (1) **Lente Epóxico.**- Este lente mantiene todo el paquete estructurado, determina el haz de luz, protege al chip reflector, además de extraer el flujo luminoso
- (2) **Cable Conductor.**- Es un cable muy delgado de oro, el cual conecta cada terminal a cada uno de los postes conductores
- (3) **Chip.**- Consiste en dos capas de material emisor semiconductor, cuando los átomos son excitados por un flujo de corriente intercambiando electrones, creando la luz
- (4) **Reflector.**- Está por debajo del Chip reflejando y proyectando luz hacia fuera, sólo un 3% se queda atrapada
- (5) **Cátodo.** - Poste hecho de aleación de cobre y conduce carga negativa, el cátodo es más corto que el ánodo para facilitar un ensamble más rápido y preciso en el circuito



(6) **Ánodo.**- Poste hecho en aleación de cobre y conduce carga positiva (Lara López et al., 2009).

2.2.6.3 Ventajas y desventajas de los LEDs

Ventajas:

Teniendo presente las fuentes de luz convencionales respecto a las de tecnología LED, y al realizar una comparación resulta que la fuente de luz con LED presenta numerosas ventajas, que podemos destacar:

- Voltaje de operación muy bajos.
- La fiabilidad del estado sólido.
- Rápido encendido - instantáneamente al 100% de sus rendimientos.
- Tamaño compacto.
- Capaz de emitir luz con color intenso, sin el uso de filtros de colores.
- La forma del encapsulado del LED permite que la luz se pueda enfocar, mientras las fuentes incandescentes y fluorescentes requieren a menudo un reflector externo para recoger la luz y dirigirla de una manera útil (Lujan & Escobar, 2017).
- Alta resistencia contra golpes: presenta una alta resistencia a las vibraciones e impactos, brindando mayor confiabilidad que las lámparas convencionales por no haber fallos en los filamentos.
- Larga duración: larga vida útil, entre 50.000 y 100.000 horas respetando las condiciones recomendadas de funcionamiento (Lujan & Escobar, 2017).
- Bajo consumo: ahorro de energía por la poca potencia consumida mejorando en la eficiencia energética.



- Alta eficiencia en colores: elevada saturación de color, por lo que no se necesitan filtros de color; donde, los LED son fuentes de luz prácticamente monocromáticas que permiten obtener una amplia gama de colores (Lujan & Escobar, 2017).
- Sin radiación UV/IR: sin emisiones de radiación ultravioleta ni infrarroja, no se deterioran los materiales expuestos a la luz LED.
- Efectividad a bajas temperaturas: Funcionamiento fiable a bajas temperaturas, hasta de -30°C (Lujan & Escobar, 2017).
- Facilidades en su control y programación.
- Reducidos costo por mantenimiento
- Cierre hermético contra el polvo y la humedad.
- Unidad Óptica sellada (Hurtado, 2017).

Desventajas:

El precio es sin duda alguna una de las desventajas principales del LED, ya que su precio es comparativamente alto con respecto al resto de las lámparas existentes en el mercado (Lujan & Escobar, 2017).

Cabe mencionar que la constante innovación tecnológica también representa una desventaja, por su varianza a corto plazo.

2.2.6.4 Tipos de LEDs

En el campo de la iluminación se disponen de diferentes tecnologías para conseguir una fuente de luz, específicamente en los LEDs Básicamente existen tres tipos de LED, para aplicaciones específicas y con características particulares para cada una de ellas (Lujan & Escobar, 2017):



LED SMD: LED encapsulado en una resina semirrígida y que se ensambla de manera superficial

LED COB: corresponde a las siglas “Chip on board” (“chip en la placa”), en el cual se han insertado multitud de LEDs en un mismo encapsulado

LED alta potencia (HP): LED encapsulado de alta potencia y eficiencia.

Diferencias entre luminarias LED SMD, LED COB y LED Alta Potencia

A continuación se presenta las diferencias de los LED según sus características:

Luminosidad o Lumens/Watts:

SMD: alrededor de los 50-60Lm por W

COB: 120Lm/W, alta intensidad de luz

HP: 120Lm/W, alta intensidad de luz

Ángulos de apertura:

SMD: son pequeños LEDs que se pueden repartir por todo el cuerpo de la bombilla, permitiendo iluminación a 360°.

HP: el ángulo máximo de apertura es de 140°, modificable solo con lentes o cubiertas.

COB: el ángulo de apertura de hasta 175°, si bien es difícil posteriormente de modificar.

Intensidad lumínica:

SMD: Su flujo luminoso es recto y fuerte; Si se mira directamente es molesto para los ojos, y el índice de reproducción cromática (CRI) es alto, de hasta el 80%, que nos indica que reproduce los colores fielmente (Lujan & Escobar, 2017).

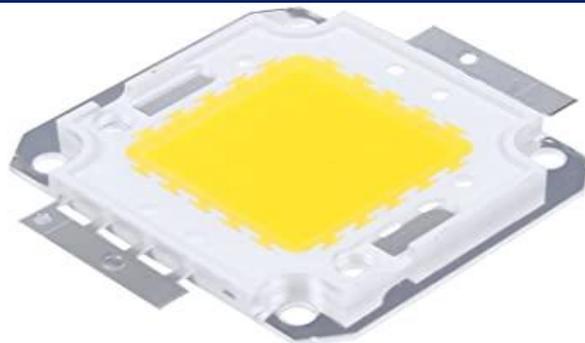
HP: resulta molesto a los ojos si se mira directamente. Presenta flujo luminoso uniforme y fuerte. El índice de reproducción cromática (CRI) es alto, de hasta el 80%. (Lujan & Escobar, 2017).

COB: Es el más suave cuando se mira directamente, su flujo luminoso es uniforme y suave, tiene un mayor IRC por lo que conseguimos una luz de mayor calidad. En la mayoría de los casos el IRC es mayor del 90%. (Lujan & Escobar, 2017).

2.2.6.5 Funcionamiento de los elementos de una luminaria LED

- a) **El chip.-** Es la parte más importante del led. Está compuesta de un material semiconductor capaz de generar luz, cuando se le aplica corriente no debe fallar en largo tiempo en caso de que esté constructivamente bien diseñado, a base de carburo de silicio (o en ocasiones de zafiro), se depositan en forma de vapores diferentes materiales, cuya mezcla es la que da el color y la calidad de la luz, además el chip se protege del exterior mediante una carcasa de cristal o policarbonato; Cuando el color de la capa de fósforo que recubre el chip es de color amarillo oscuro (ocre), emitirá luz “cálida” (warm light), similar a la de una lámpara halógena de igual cantidad de lúmenes, con la diferencia que consumirá menos energía eléctrica en watt (Castro & Posligua, 2015).

Figura 17: Chip de LED



FUENTE: Tomado de,

(<https://www.eonline2021.com/category?name=led%20chip>)

- b) **Driver.-** Los led no se conectan directamente a la red eléctrica, su función de este driver es de controlar el sistema eléctrico de trabajo del led de alta potencia luminosa, por lo que el aprovechamiento real de la energía eléctrica, este controlador permite que las lámparas led de alta potencia luminosa puedan funcionar con corriente alterna (Castro & Posligua, 2015).

El aprovechamiento real de la energía eléctrica consumida se mide por el valor del factor de potencia (PF o Power Factor o Factor de Poder), teniendo que si el valor es igual a 1 significa que toda la electricidad que llega a la fuente de alimentación se ha aprovechado; usualmente de un driver de calidad se espera a que el valor sea superior a 0,9 (Hurtado, 2017).

Figura 18: Driver de LED



FUENTE: Tomada de, (http://lowbill.green/index.php/calidad_led).

- c) **La placa base.-** PCB Printed Circuit Board (placa de circuito impreso), es aquella que soporta las conexiones de los dispositivos electrónicos, tales como las conexiones del chip y las vías de disipación de calor, También se la denomina como placa madre (Hurtado, 2017).

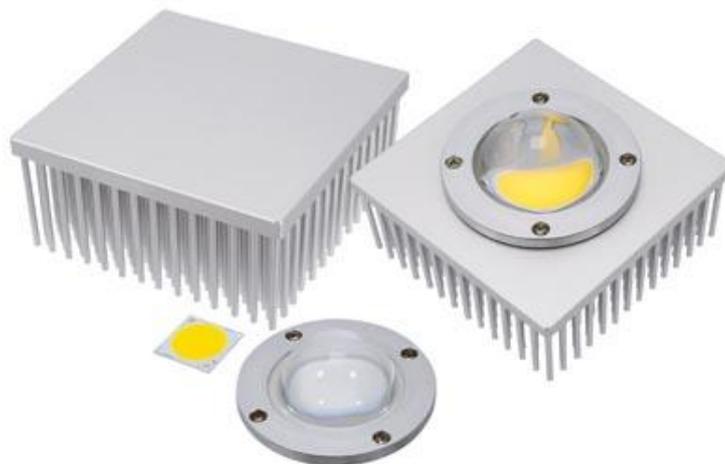
Figura 19: Placa base LED



FUENTE: Tomada de, (<http://www.jardicom.fr/p/led-12-dc>).

- d) **Disipador de calor.-** La disipación del calor es muy importante para la duración de un LED, es un elemento imprescindible de utilizar en una lámpara LED de alta potencia luminosa, una buena disipación del calor alargará la vida del chip y para lograrlo, son claves los materiales empleados y un diseño que favorezca esta disipación, Un disipador mal diseñado puede ocasionar la destrucción del chip del LED (Castro & Posligua, 2015).

Figura 20: Disipador térmico LED



FUENTE: Tomada de, (<https://www.diarioelectronico hoy.com/disipador-cuadrado-para-aplicaciones-led/>).

- e) **Lente óptica secundaria.-** Es el conjunto de lentes exteriores que establecen la distribución del haz de luz emitida por el led que puede proporcionar un mayor o menor ángulo de difusión de la luz, pues la que emite el LED se difunde, normalmente, de forma unidireccional; En el caso de la lámpara que se ilustra en esta sección, el diseño del componente óptico está formado por pequeñas lentes, que permiten que la luz se difunda en un ángulo de 120° , la forma y composición de las lentes que forman la óptica secundaria puede variar en función de las necesidades de iluminación y distribución de la luz que se requieran (Castro & Posligua, 2015).

Figura 21: *Lente óptico LED*



FUENTE: Tomada de (<https://blog.ledbox.es/informacion-led/la-importancia-de-la-optica-en-la-iluminacion-led>).

2.2.7 Criterios de diseño de alumbrado público

Para lograr el grado de bienestar de los usuarios del producto eléctrico, es de importancia considerar los siguientes aspectos para el diseño del alumbrado público que brinde calidad del alumbrado público, la que debe ser diseñado para proporcionar el nivel de iluminación requerido por el tipo de vía, es decir, considerando el tamaño de las calles, avenidas, parques (áreas verdes) y el flujo de tránsito, en todo los casos se debe considerar las condiciones de iluminación, incluyendo pasos peatonales y banquetas (Niño, 2011).



2.2.7.1 Niveles de iluminación recomendados

Para los niveles de iluminación, la Norma Técnica DGE. “Alumbrado de Vías Públicas en Zonas de Concesión de Distribución” (2002) establece las exigencias lumínicas mínimas que deben cumplir las instalaciones de alumbrado de vías públicas, según el tipo de alumbrado que se le asigne y su clasificación vial (MINEM, 2002b).

Tipos de alumbrado en vías de tránsito vehicular motorizado.

El Concesionario solicitará a la municipalidad respectiva la clasificación de las vías para luego asignar el tipo de alumbrado que le corresponde, según la Tabla N° 13; donde, si la municipalidad no hubiese clasificado sus vías, el Concesionario coordinará con la municipalidad para efectuar tal clasificación tomando como referencia lo establecido en la Tabla N° 13, y asignará el tipo de alumbrado que le corresponde; teniendo, el mismo criterio anterior se emplea para las vías regionales y subregionales que atraviesan la zona urbana, donde la Autoridad dará conformidad a la clasificación (MINEM, 2002b).

Para elaborar un diseño de iluminación adecuado para el alumbrado público se considera los siguientes pasos:

a) Clasificación de la vía a iluminar:

Los tipos de alumbrado son de acuerdo al tipo de vía, determinado con el criterio funcional conforme a la norma DGE y mostrada en la Tabla N° 13.

Tabla 12: Tipos de alumbrado según la clasificación vial

Tipo de vía	Tipo de alumbrado	Función	Características del tránsito y la vía
Expresa	I	-Une zonas de alta generación de tránsito con alta fluidez -Accesibilidad a las áreas urbanas adyacentes mediante infraestructura especial (rampas)	-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	-Une zonas de alta generación de tránsito con media o alta fluidez - Acceso a las zonas adyacentes mediante vías auxiliares.	-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	Permite acceso a vías locales	-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	Permite acceso a vías locales	-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	Permite el acceso al comercio local	-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	Permite acceso a las viviendas	-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	Permite acceso a las viviendas	-Vías con calzadas sin asfaltar. -Vías con calzadas asfaltadas, veredas continuas y con flujo motorizado muy reducido o nulo.
Vías peatonales	V	Permite el acceso a las viviendas y propiedades mediante el tráfico peatonal	- Tráfico exclusivamente peatonal.

FUENTE: Tomado de MINEM (2002).

En el caso de las vías regionales y subregionales, debe considerarse sólo el alumbrado en el tramo comprendido dentro de la zona urbana, y para efectos de diseño, los proyectistas deberán tener presente la norma municipal vigente respecto al Sistema Vial Metropolitano (MINEM, 2002b).

Para proyectos en provincias, se deben considerar normas correspondientes; En todo caso, el proyectista deberá coordinar con el concesionario y la municipalidad respectiva la viabilidad de construcción, estipulado en dichos dispositivos municipales (MINEM, 2002b).

b) Selección de los valores de iluminación

Estándares de Calidad de Alumbrado Público

Toda instalación de alumbrado público debe cumplir, como mínimo, con los niveles de alumbrado para tráfico motorizado, tráfico peatonal y áreas públicas recreacionales, desde la etapa de diseño como en el control de la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos, la fiscalización por parte de la Autoridad y reclamaciones que pudiera n realizar los usuarios (MINEM, 2002b).

Requerimiento para el diseño y puesta en operación de nuevas instalaciones

Para las nuevas instalaciones, así como para su diseño de iluminación, se consideran en la superficie de la vía, los niveles de luminancia, iluminancia e índices de control de deslumbramiento establecidos en la Tabla N° 15, de acuerdo al tipo de alumbrado que corresponde a la vía, donde la identificación de los tipos de calzada se realizará de acuerdo a la Tabla 14 (MEM, 2002b).

Tabla 13: Identificación de la calzada

Tipo de superficie	Tipo de Calzada
Revestimiento de concreto	Clara
Revestimiento de asfalto	Oscura
Superficie de tierra	Clara

FUENTE: MINEM (2002).

Tabla 14: Niveles de luminancia, iluminancia e índice de control de
deslumbramiento

Tipo de alumbrado	Luminancia media revestimiento seco	Iluminancia media (lux)		Índice de control de deslumbramiento
	(cd/m ²)	Calzada clara	Calzada oscura	(G)
I	1,5 – 2,0	15 – 20	30 – 40	≥ 6
II	1,0 – 2,0	10 – 20	20 – 40	5 - 6
III	0,5 – 1,0	5 – 10	10 – 20	5 - 6
IV		2 – 5	5 – 10	4 - 5
V		1 – 3	2 – 6	4 - 5

FUENTE: Tomado de MINEM (2002).

En caso de vías exclusivamente peatonales, deberá considerarse un nivel de iluminancia media equivalente al tipo de alumbrado V.

Uniformidades de luminancia e iluminancia

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 (MINEM, 2002b)

En ambos casos, se respetarán los valores que a continuación se señalan en las Tablas 15 y 16:

Tabla 15: Uniformidad de luminancia

Tipo de alumbrado	Uniformidad Longitudinal	Uniformidad media
I	≥0.7	≥0.4
II	≥0.65	≥0.4

FUENTE: Tomado de MINEM - DGE (2002).

Tabla 16: Uniformidad media de iluminancia

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

FUENTE: MINEM - DGE (2002).

Para mantener la luminancia e iluminancia se tiene recomendaciones MINEM, (2002):

- i. “La iluminación de las veredas no deberá ser inferior al 20% de la iluminación media de la calzada”
- ii. Los estándares de calidad fijados en las Tablas 14, 15 y 16 deben verificarse en el momento de la puesta en operación comercial de las nuevas instalaciones de alumbrado de vías públicas.
- iii. El control de calidad que se exija en los asentamientos humanos (AAHH) que se encuentren en cerros y cuyas vías no están afirmadas, o sea dificultoso el desplazamiento de vehículos rodantes, o la calzada presente ondulaciones, solo será el parámetro iluminancia media para el tipo de vía que corresponde. Conforme vayan mejorando las vías, les será de aplicación la Tabla 14 (MINEM, 2002b).

Requerimiento para el control de la calidad del alumbrado y reclamaciones de los usuarios MINEM, (2002):

- i. “Los niveles mínimos de alumbrado para efecto del control de la calidad del alumbrado de vías públicas, para la aplicación de la NTCSE y reclamaciones de usuarios”, son las que se indica en la Tabla 14.
- ii. “Todo cambio de color de la calzada obliga que la iluminación de ésta se ajuste a los estándares vigentes que le corresponde" (MINEM, 2002b).



c) Selección de luminaria y fuente de luz

Actualmente la fuente de luz más utilizada para el alumbrado público es la de sodio de alta presión debido a su eficiencia lumínica (Hurtado, 2017): Para realizar una buena selección de la luminaria y fuente de luz se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

i. Fotométricos:

La lámpara debe tener una buena distribución del flujo luminoso, Ser eficiente y controlar el deslumbramiento (Hurtado, 2017).

ii. Eléctricos y mecánicos:

En lo posible las lámparas deben ser de fácil mantenimiento, deben mantener dentro de sus límites la temperatura de los elementos eléctricos internos, tener en su interior un terminal que facilite su conexión a tierra, deben ser seguras y servir de soporte y conexión a los demás elementos que se encuentran alojados en su interior (Avalos & Vargas, 2012).

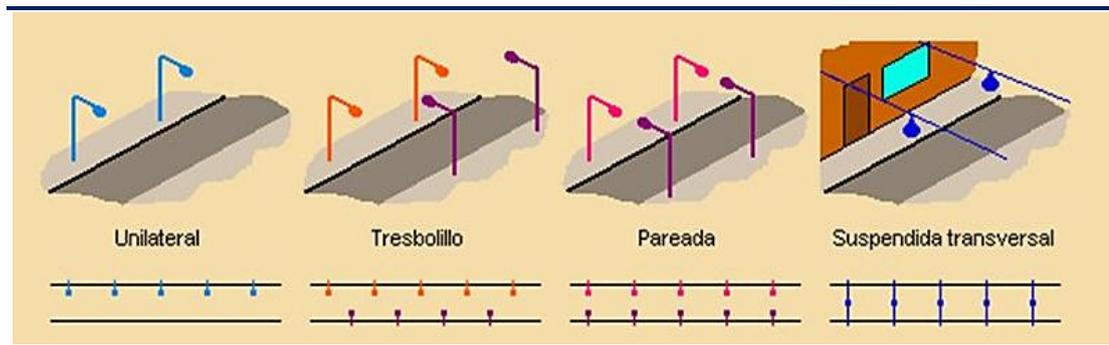
iii. Estéticos:

En cualquier estado que se encuentre, encendida o apagada, esta debe integrarse con el entorno que la rodea y crear un mejor ambiente (Hurtado, 2017)

d) Disposición de las luminarias

En los *tramos rectos de vías con una única calzada* existen tres disposiciones básicas: unilateral, bilateral tresbolillo y bilateral pareada. También es posible suspender la luminaria de un cable transversal pero sólo se usa en calles muy estrechas, como se muestra en la figura (Avalos & Vargas, 2012).

Figura 22: Disposición de luminarias vías simples



FUENTE: Tomado de (<https://slideplayer.es/slide/3453702/>).

En la distribución unilateral es recomendada si la anchura de la vía es menor que la altura de montaje de las luminarias; La bilateral tresbolillo si está comprendida entre 1 y 1.5 veces la altura de montaje y la bilateral pareada si es mayor de 1.5 (Avalos M. & Vargas V., 2012).

Tabla 17: Relación ancho y altura para vías recomendados por la CIE (1997)

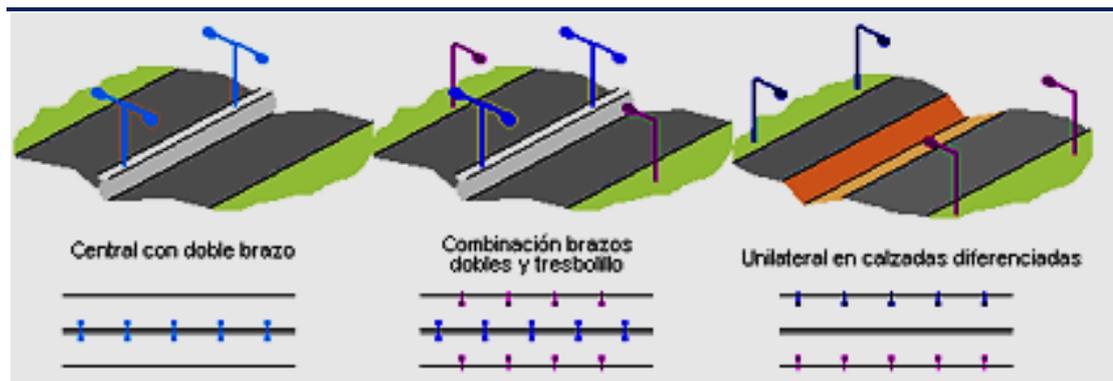
Disposición	Relación entre la anchura de la vía y la altura de montaje
Unilateral	$A/H < 1$
Tresbolillo	$1 \leq A/H \leq 1.5$
Pareada	$A/H > 1.5$
Suspendida	Calles muy estrechas

FUENTE: CIE (1997).

En el caso de *tramos rectos de vías con dos o más calzadas separadas por una mediana* se pueden colocar las luminarias sobre la mediana o considerar las dos calzadas de forma independiente; Si la mediana es estrecha se pueden colocar farolas de doble brazo que dan una buena orientación visual y tienen muchas ventajas constructivas y de instalación por su simplicidad, en caso de que la mediana es muy ancha es preferible tratar

las calzadas de forma separada, donde pueden combinarse los brazos dobles con la disposición al tresbolillo o aplicar iluminación unilateral en cada una de ellas, en este último caso es recomendable poner las luminarias en el lado contrario a la mediana porque de esta forma incitamos al usuario a circular por el carril de la derecha (Ticona, 2015).

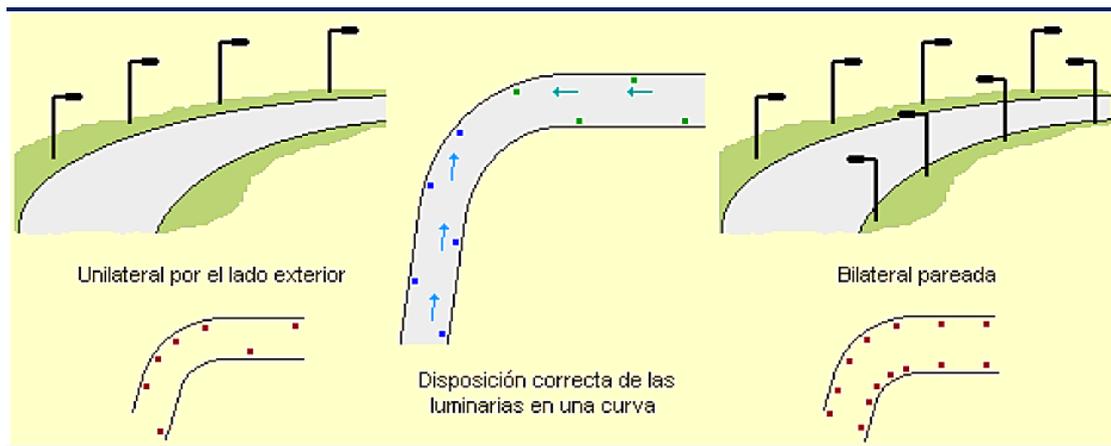
Figura 23: Disposición de luminarias vías dobles



FUENTE: Ticona, (2015).

En *tramos curvos* las reglas a seguir son proporcionar una buena orientación visual y hacer menor la separación entre las luminarias cuanto menor sea el radio de la curva; Si la curvatura es grande ($R > 300$ m) se considerará como un tramo recto; Si es pequeña y la anchura de la vía es menor de 1.5 veces la altura de las luminarias se adoptará una disposición unilateral por el lado exterior de la curva, y en el caso contrario se recurrirá a una disposición bilateral pareada, nunca tresbolillo pues no informa sobre el trazado de la carretera (García y Oriol, 2021).

Figura 24: Disposición de luminarias tramos curvos



FUENTE: Tomado de, García & Boix, (2004).

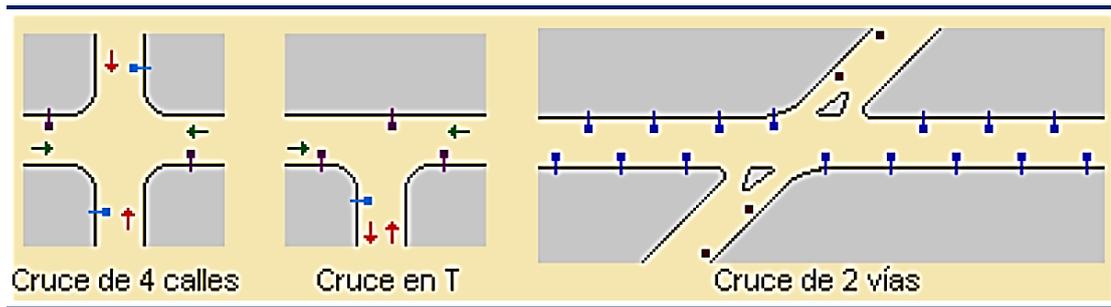
Tabla 18: Disposiciones en curvas recomendados por la CIE (1997)

$R > 300$ m	Asimilar a un Tramo recto	
$R < 300$ m	$A/H < 1.5$	Unilateral Exterior
	$A/H > 1.5$	Bilateral Pareada

FUENTE: Adaptado de CIE (1997).

En **cruces** se recomienda que el nivel de iluminación sea superior al de las vías que convergen en él, para mejorar la visibilidad; Asimismo, es recomendable situar las farolas en el lado derecho de la calzada y después del cruce, y si tiene forma de T hay que poner una luminaria al final de la calle que termina; En las salidas de autopistas conviene colocar luces de distinto color al de la vía principal para destacarlas; En cruces y bifurcaciones complicados es mejor recurrir a iluminación con proyectores situados en postes altos, más de 20 m, pues desorienta menos al conductor y proporciona una iluminación agradable y uniforme (Ticona, 2015).

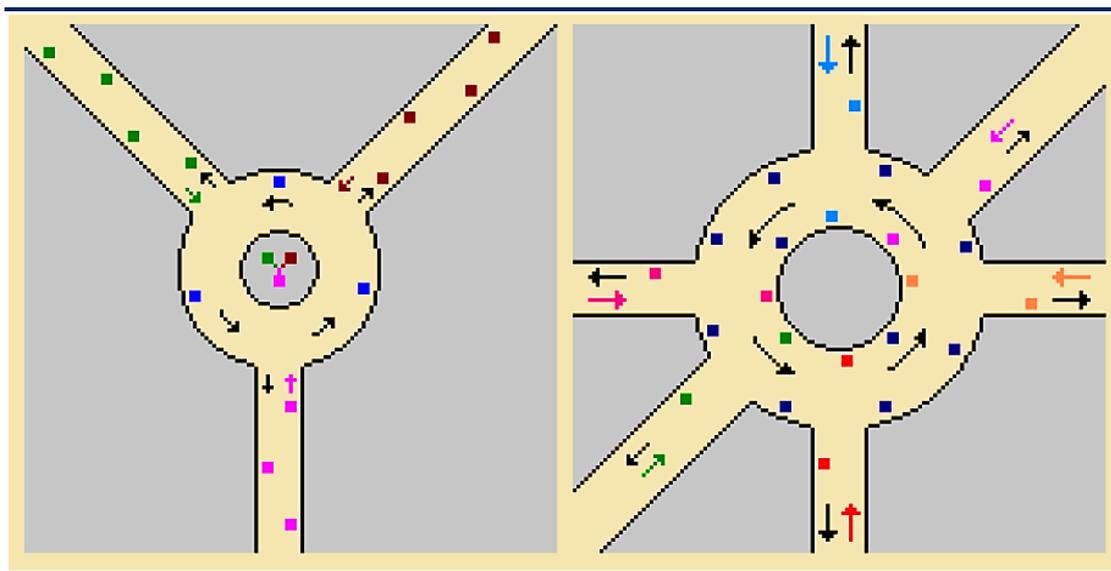
Figura 25: Disposición de luminarias cruces



FUENTE: Tomado de, Ticona, (2015).

En las *plazas y glorietas* se instalarán luminarias en el borde exterior de estas para que iluminen los accesos y salidas, donde la altura de los postes y el nivel de iluminación será por lo menos igual al de la calle más importante que conecten en ella, además, se pondrán luces en las vías de acceso para que los vehículos vean a los peatones que crucen cuando abandonen la plaza, en caso que son pequeñas y el terraplén central no es muy grande ni tiene arbolado se puede iluminar con un poste alto multibrazo, y para el caso de terraplén central grande es mejor situar las luminarias en el borde del terraplén en las prolongaciones de las calles que desemboca en esta (García y Boix, 2012).

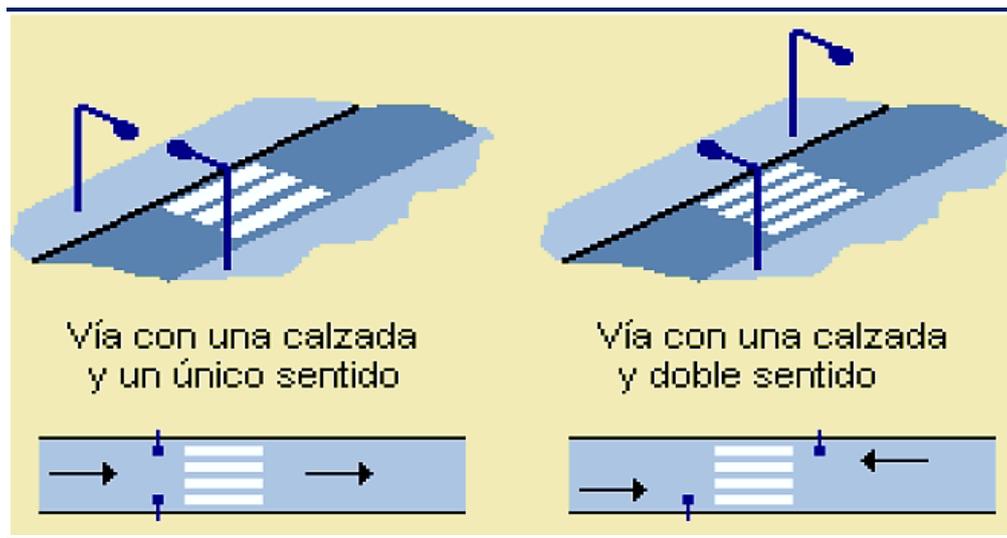
Figura 26: Disposición de luminarias en óvalos y glorietas



FUENTE: García & Boix, (2004).

En los *pasos de peatones* las luminarias se colocarán antes de estos según el sentido de la marcha de tal manera que sea bien visible tanto por los peatones como por los conductores (Ticona, 2015).

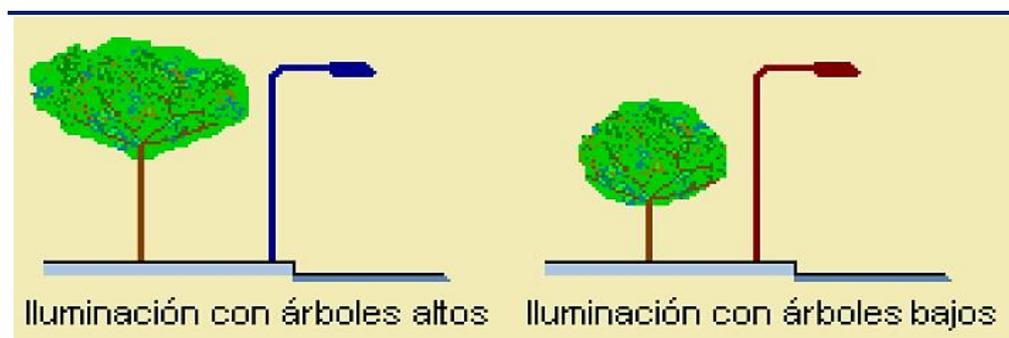
Figura 27: Disposición de luminarias vías peatonales



FUENTE: Tomado de, Ticona, (2015).

Por último, hay que considerar la *presencia de árboles en la vía*; Si estos son altos, de unos 8 a 10 metros, las luminarias se situarán a su misma altura, pero si son pequeños las farolas usadas serán más altas que estos, de 12 a 15 m de altura, en ambos casos es recomendable una poda periódica de los árboles (García y Boix, 2012).

Figura 28: Iluminación con presencia de árboles en la vía



FUENTE: Tomado de, García & Boix, (2012).

Teniendo presente estas consideraciones, la altura de montaje para la luminaria también es relacionada con las facilidades para su mantenimiento, su costo de los apoyos o estructuras y el flujo lumínico de las lámparas.

Tabla 19: Altura de montaje con flujo de Lámpara

Flujo de la lámpara (lm)	Altura (m)
$3000 \leq \Phi L \leq 10000$	$6 \leq H < 8$
$10000 \leq \Phi L \leq 20000$	$8 \leq H < 10$
$20000 \leq \Phi L \leq 400000$	$10 \leq H < 12$
$\Phi L \geq 40000$	≥ 12

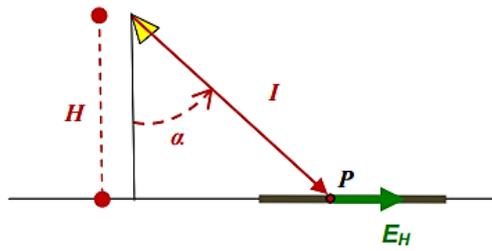
FUENTE: Adaptado de, Sarzo, (2007).

2.2.7.2 Cálculo de la iluminancia promedio de una vía

Se tiene varios métodos que facilitan el cálculo de la luminancia promedio en una vía. A continuación lo detallamos:

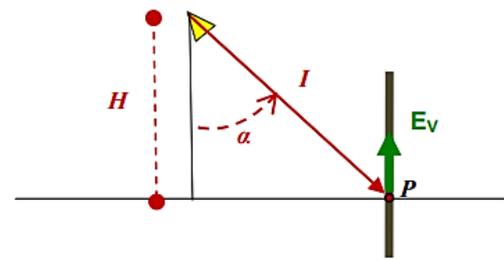
- **Cálculo de la iluminancia punto a punto**

Este método permite conocer la luminancia en puntos concretos, por medio de la aplicación de la ley de Lambert (inverso cuadrado de la distancia), donde la implementación del método requiere el conocimiento de la distribución fotométrica de cada fuente de luz el cual nos da la intensidad luminosa emitida hacia el punto directamente (Hurtado, 2017).



En el plano horizontal

$$E_H = \frac{I \cdot \cos^3 \alpha}{H^2}$$



En el plano vertical

$$E_v = \frac{I \cdot \cos^2 \alpha \cdot \operatorname{sen} \alpha}{H^2}$$

Donde:

E_H = nivel de iluminación en un punto de una superficie horizontal (en LUX)

E_v = nivel de iluminación en un punto de una superficie vertical (en LUX)

I = intensidad de flujo luminoso según la dirección del punto a la fuente. Puede obtenerse de los diagramas polares de la luminaria o de la matriz de intensidades que generalmente proporciona el fabricante de luminarias (en candelas). (Hurtado, 2017).

α = ángulo formado por el rayo luminoso y la vertical que pasa por la luminaria

H = altura del plano de trabajo a la lámpara (en m).

- **Cálculo de iluminancia por el método de los lúmenes o coeficiente de utilización**

Este método consiste en calcular la distancia óptima entre dos postes que soportan las luminarias con el fin de que el nivel de luminancia media esté garantizado (“Alumbrado de Vías públicas”, 2013): Por medio de este método, se calcula el flujo luminoso necesario para una parte de la vía, aplicando la fórmula siguiente:

$$\Phi_L = \frac{E_m \cdot a \cdot d}{\eta f_m C_d}$$

Donde:

Φ_L : flujo luminoso necesario en lúmenes.

E_m : iluminancia media en lux.

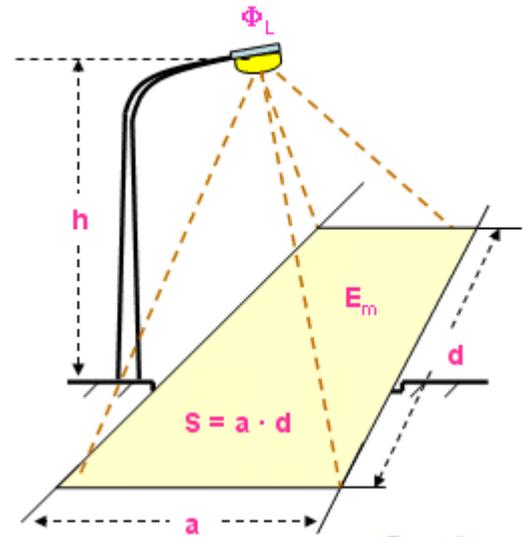
a : ancho de la calzada en metros.

d : distancia entre luminarias.

η : factor de utilización.

f_m : factor de mantenimiento.

C_d : Coeficiente de depreciación de las lámparas.

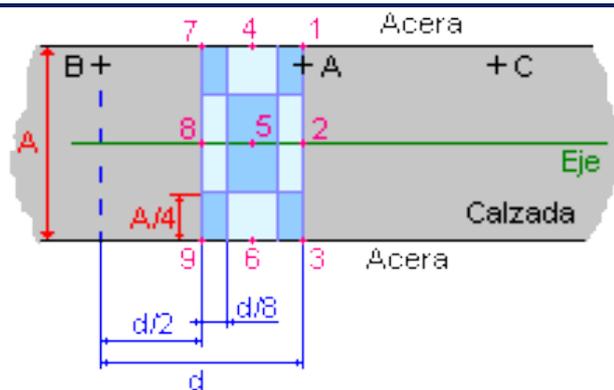


En este método, sólo el factor o coeficiente de utilización es la verdadera incógnita pues los demás elementos de la fórmula son conocidos, donde el factor de utilización es el porcentaje del flujo de la lámpara que cae en una franja de área de largo indefinido, ya sea hacia el lado de la calzada o hacia el lado de la acera respecto de la luminaria, cuando ésta está iluminada y orientada de manera equivalente a como fue sometida a prueba (García y Oriol, 2021).

- **Método de los 9 puntos**

Este método consiste en el cálculo de la iluminancia media de una vía por medio de la iluminación puntual en 9 puntos seleccionados dentro de la misma (Hurtado, 2017).

Figura 29: Distribución de puntos en una disposición unilateral



FUENTE: Adaptado de (<https://es.scribd.com/doc/147412733/Metodo-de-los-nueve-puntos>).

La fórmula a emplear es la siguiente:

$$E_m = \frac{1}{4}E_5 + \frac{1}{8}(E_2 + E_4 + E_6 + E_8) + \frac{1}{16}(E_1 + E_3 + E_7 + E_9)$$

Con este método se calculan los valores E_{min} y E_{max} y puede obtenerse el factor de la uniformidad máxima que es:

$$E_{u,max} = \frac{E_{min}}{E_{max}}$$

De manera similar se puede calcular el factor de uniformidad de iluminancia media que es:

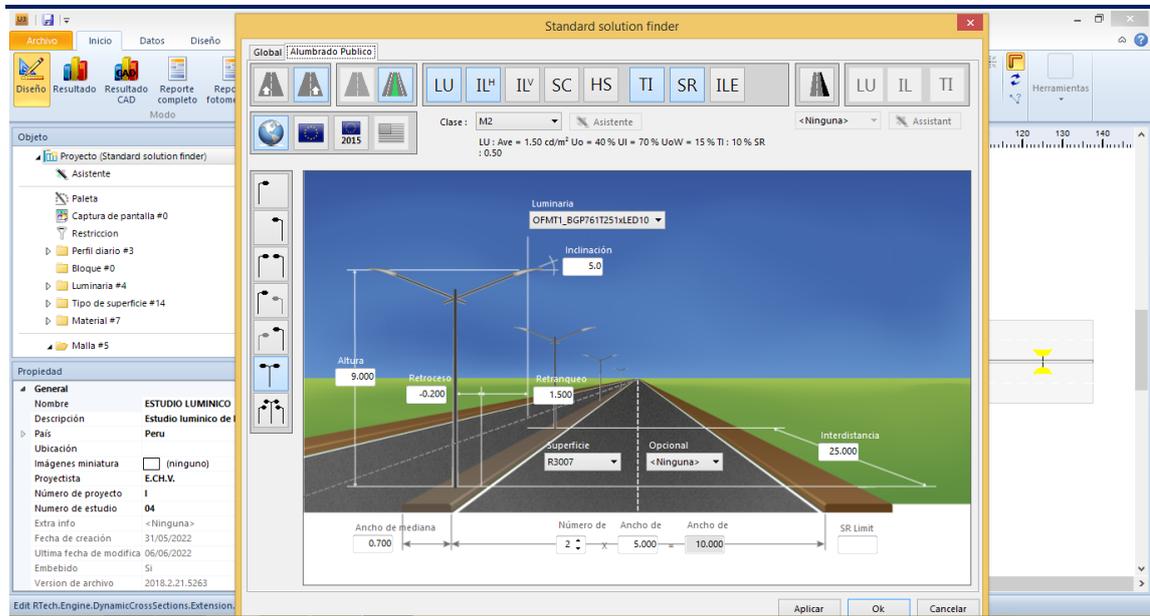
$$E_{u,med} = \frac{E_{min}}{E_m}$$

- **Mediante el Software Ulysse 3**

El software que se utiliza en este proyecto es el Ulysse3. El cual permite realizar cálculos y visualizaciones de proyectos de iluminación especialmente en vías (Avenidas, calles, carreteras). Este programa gratuito, permite realizar análisis cuantitativos de

manera intuitiva y manejabilidad, donde los cálculos están en cumplimiento con la normativa en iluminación exterior.

Figura 30: Interfaz del software Ulysse 3



Elaboración Propia

2.2.8 Energía solar

La energía solar está constituida por la porción de la luz que emite el sol y que es interceptada por la tierra; Perú es un país con alta incidencia de energía solar en la gran mayoría del territorio. (Fernández, 2009. P.3).

La energía solar directa es aquel, que sin transformar calienta e ilumina; además se necesita sistemas de captación y de almacenamiento para aprovechar la radiación de diversas formas, ya sea directa o indirectamente. (Méndez y Cuervo, 2012, p.27).

En el sol tienen lugar constantemente una serie de reacciones termonucleares que liberan gran cantidad de energía irradiada al espacio, una ínfima parte de esa energía llega a la superficie terrestre, de la cual esa parte minúscula supone un flujo extraordinario de



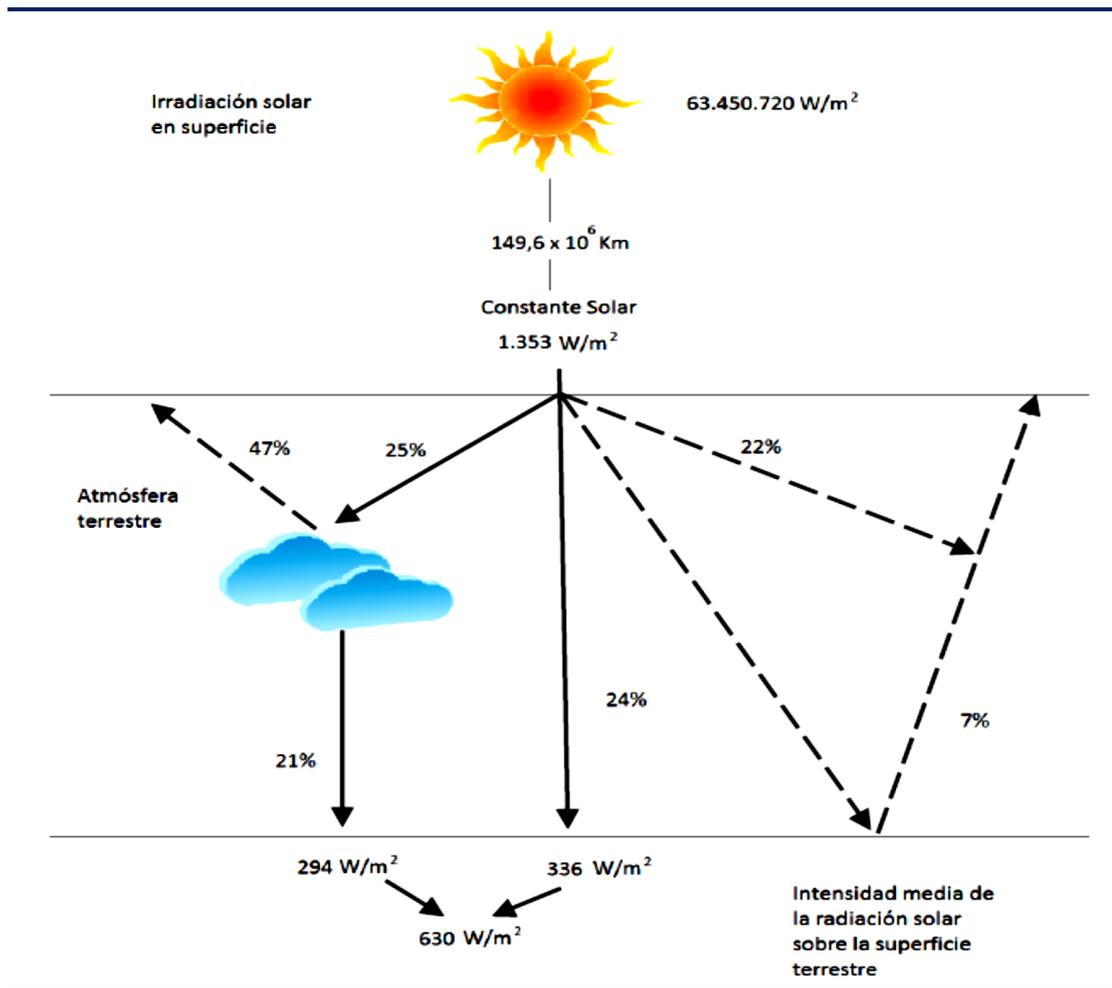
energía solar de unos 10 kWh anuales, que supera con creces, no solo nuestro consumo de energía anual, sino la propia energía contenida en todas las reservas conocidas de energías fósiles. (Moro 2010, p.12).

2.2.9 Radiación solar

El sol es una fuente de energía inagotable producida por el fenómeno de fusión nuclear de hidrógeno a helio que origina rayos solares que se trasladan por el espacio en forma de ondas electromagnéticas al cual se le llama radiación solar y es el responsable que nuestro planeta reciba el aporte energético continuo de aproximadamente 1.367 W/m², que vendría ser la potencia radiante, sin embargo, esta potencia no llega a la superficie en su totalidad debido a los fenómenos atmosféricos, actividad humana y el ciclo día y noche. (Quispe y Poccori, 2021).

El instituto geofísico del Perú reporta, el 24% de radiación incide directamente, y solo el 21% no llega directamente, el 29% se pierde en el espacio. (Valdiviezo, 2014).

Figura 31: La radiación y su distribución.



FUENTE: Adaptado de Valdiviezo, (2014).

Según Valdiviezo (2014): en su investigación explica que existen tres tipos de radiación solar:

- **Directa.**- es la que desciende del sol, sin desviar su paso por la atmosfera
- **Difusa.**- es la que sufre cambios debido a los rebotes en la atmosfera
- **Albedo.**- es la que se da por rebotes en el suelo u otras superficies adyacentes, puede presentarse directa o difusa.

Debido a la explicación de estas medidas, podemos indicar que la cantidad de irradiación que llega a una superficie horizontal al medio día es de 1000 W/m^2 cuyo valor depende de las condiciones atmosféricas como el lugar, nubosidad y sobre todo es

necesario saber la radiación del lugar y así poder dimensionar el diseño de un sistema fotovoltaico (Curi, 2014).

Figura 32: Mapa de la energía solar diaria promedio Anual



FUENTE: NASA, (2019).

2.2.10 Geometría solar

2.2.10.1 Constante solar

Es la radiación sobre una superficie orientada normalmente a la dirección de los rayos solares y situada fuera de la atmósfera terrestre a la distancia astronómica unidad igual a 1.495×10^{11} m que es la distancia media Sol-Tierra; No es una verdadera

constante pues varía ligeramente, 0.1% a 0.2%, respecto de su valor central, aceptando en la actualidad como $ISC=1370 \text{ W/m}^2$, Sin embargo, Fernández S. (2009) plantea utilizar la constante solar (G_{sc}) de 1353 W/m^2 , el mismo que ha sido aceptada por la NASA y por la ASTM (Fernández S., 2009).

La Radiación normal extraterrestre, es aquel que está sujeta a la variación geométrica y a las condiciones físicas del sol (Fernández S., 2009), y es gobernado por la ecuación siguiente:

$$G_{on} = G_{SC} \left(1 + 0.033 \cos \left(\frac{360 \cdot n}{365} \right) \right)$$

Donde:

G_{on} = es el flujo de la radiación extraterrestre;

n = número de día del año.

2.2.10.2 Declinación solar

“La declinación solar es el ángulo comprendido entre el plano que genera la proyección del Ecuador terrestre con la línea que une los centros del Sol y la Tierra y su valor varía a lo largo del año” (Fernández S., 2009), El ángulo diario se determina mediante:

$$\Gamma = 2\pi \frac{n - 1}{365}$$

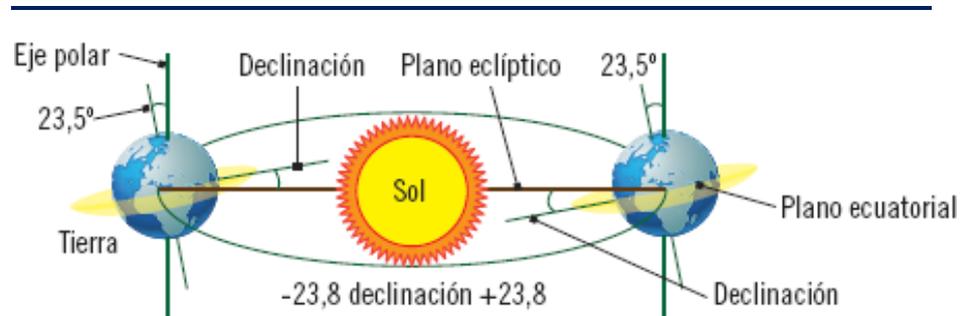
La declinación se determinar por medio de:

$$\delta(^{\circ}) = 23.45 \operatorname{sen} \left(\frac{360}{365(n + 284)} \right)$$

$$\varepsilon_0 = 1 + 0.033 \cos \left(\frac{360 \cdot n}{365} \right)$$

Donde: n = número de día del año.

Figura 33: Declinación solar



FUENTE: Tomada de I+D en Energía solar y automática (2012).

Posición del sol -coordenadas polares.- Para orientar hacia el sol los generadores fotovoltaicos, es necesario conocer los siguientes parámetros (Fernández S., 2009):

Latitud del lugar (λ): Es la complementaria del ángulo formado por la recta que une el zenit y el nadir con el eje polar. Es positivo hacia el Norte y negativo hacia el Sur. (Fernández S., 2009).

Meridiano del lugar: Circulo máximo de la esfera terrestre que pasa por el lugar, por el zenit y por el nadir (Fernández S., 2009).

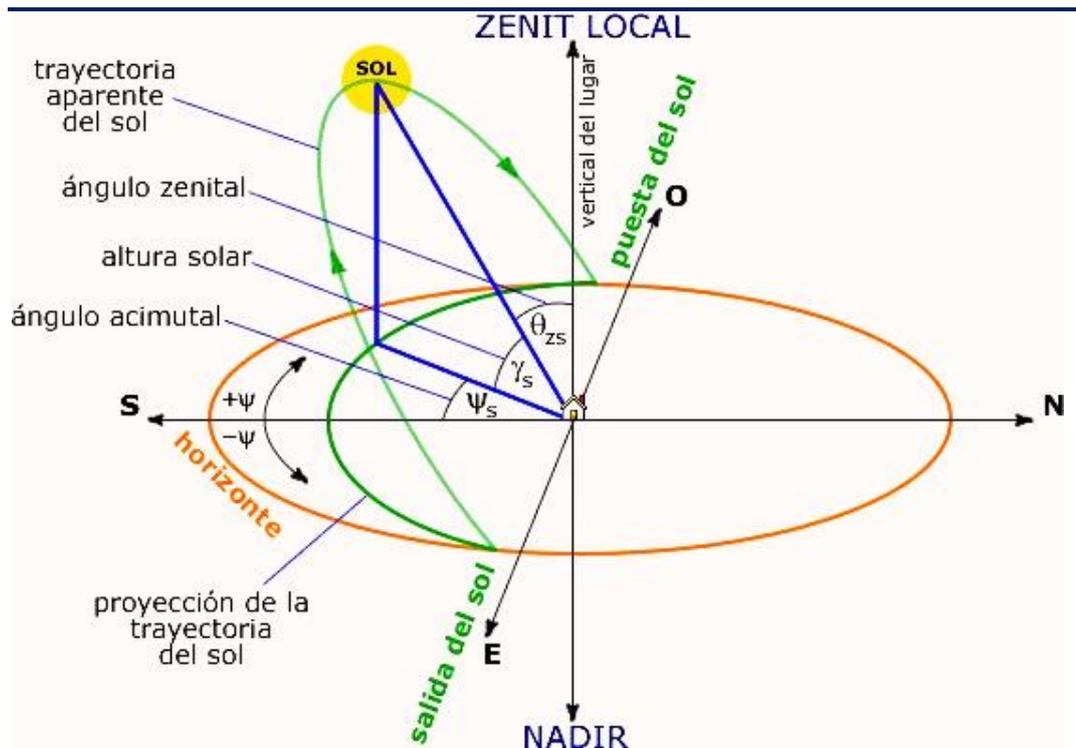
Distancia zenital (Θ_z): Es el ángulo formado por el radio vector punto Tierra y la vertical del lugar. Es positivo a partir del zenit.

Altura solar (γ_s): Ángulo que forman los rayos solares sobre la superficie horizontal. Ángulo complementario de la distancia zenital.

Angulo acimutal (Ψ_s): Ángulo formado por la proyección del Sol sobre el plano del horizonte con la dirección Sur. Positivo 0° a 180° hacia el Oeste y negativo hacia el Este 0° a -180° (Fernández S., 2009).

Horizonte: Lugar geométrico de los puntos con altura 0.

Figura 34: Posición del sol y coordenadas

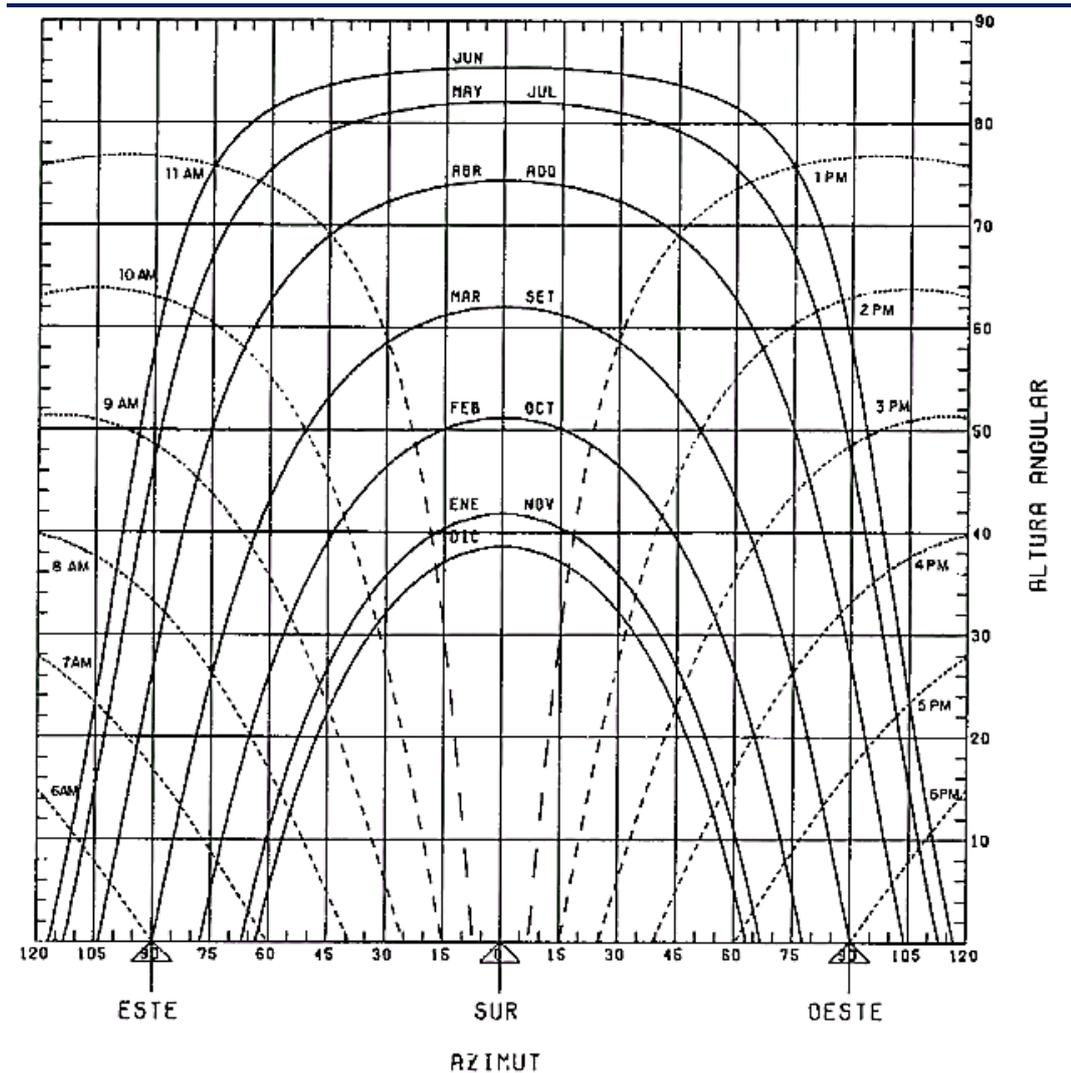


FUENTE: Tomada de I+D en Energía solar y automática (2012).

2.2.10.3 Cartas solares.

Es una representación en dos dimensiones, en cuyo eje horizontal se representan los valores de aZimut y en el vertical se representa los valores de la elevación; Los ángulos de la posición solar se miden a diferentes horas del día y con ello se dibuja una curva (Moro, 2010, p.16),

Figura 35: Carta solar que muestra la trayectoria del sol y las horas del día



FUENTE: Tomada de Moro, (2010).

2.2.10.4 La masa de aire

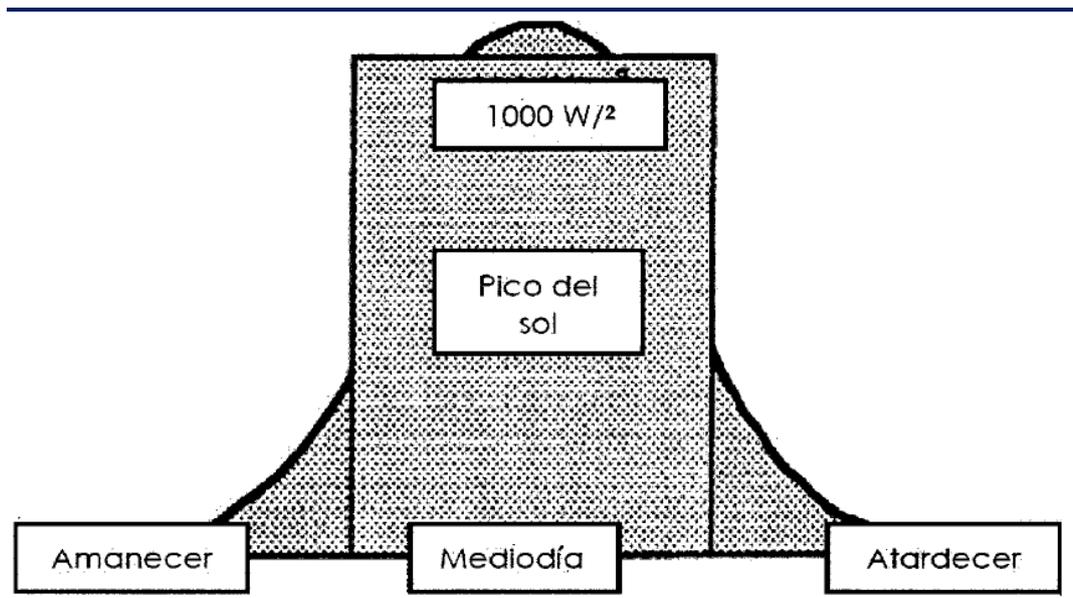
Cuando la radiación del sol atraviesa la atmósfera, sufre diversas alteraciones debidas al aire, el vapor de agua, las partículas en suspensión, la suciedad y algunos elementos de humo; donde, las nubes reflejan la radiación donde el ozono, oxígeno, vapor de agua, dióxido de carbono absorben algunas longitudes de onda, es por estos fenómenos es necesario considerar la proporción de masa de aire o factor de masa aire (AM). (Moro 2010, p 20).

$$AM = \frac{1}{\text{sen } \gamma}$$

2.2.10.5 Horas pico del sol (HPS)

Se definen como el número de horas al día con una irradiancia hipotética de 1000 W/m²; donde se puede notar que cuando la irradiancia se expresa en kW-h/m² es numéricamente similar a las H.S.P. de la cual este concepto es importante, ya que junto con un factor de pérdidas ayuda a estimar la potencia producida por los paneles fotovoltaicos. (Quispe y Poccori, 2021).

Figura 36: Representación de Horas sol pico



FUENTE: Valdiviezo, (2014)

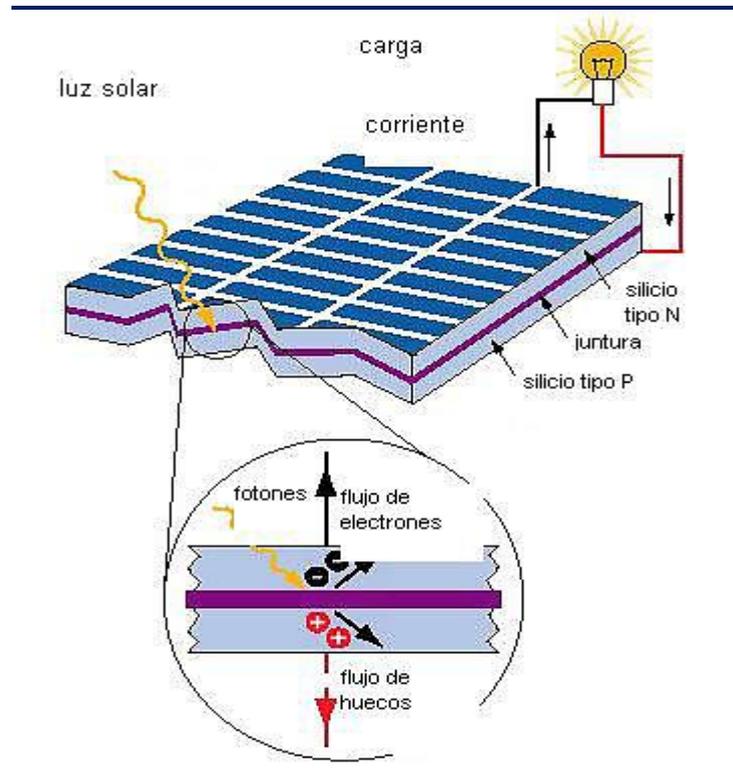
2.2.11 Celdas solares

Una Celda Solar, también conocida como Celda Fotovoltaica, es un dispositivo semiconductor dopado (tipo N-P), que convierte la luz que incide sobre él, directamente en electricidad, debido al efecto fotovoltaico (Valdiviezo, 2014).

El material semiconductor de que está hecho la celda, generalmente es de silicio, dopado positivamente con boro por un lado (tipo P) y por el otro lado negativamente con fósforo (tipo N), similar a un diodo de unión; donde el lado negativo es el expuesto a la luz y la corriente generada es recogida por unos contactos metálicos delanteros y posteriores que cierran el circuito, permitiendo así que ésta fluya de esta manera los contactos frontales o delanteros son diseñados de tal forma que cubran la menor cantidad de superficie semiconductor para disminuir lo menos posible la eficiencia de la celda. (Valdiviezo, 2014).

Una celda solar está formada por varias capas, la de contacto posterior, la de silicio dopado positivamente, la de silicio dopado negativamente, y por último con los contactos delanteros se encuentra una capa antirreflejo, ésta última es la que le da a la celda su color azul característico (Valdiviezo, 2014).

Figura 37: Funcionamiento de Celda Solar



FUENTE: Valdiviezo, (2014)



La corriente generada por una celda solar va en una sola dirección del lado “P” al “N”, es decir corriente continua o DC y su intensidad es proporcional a la frecuencia (color) de la luz incidente; el voltaje que produce una celda no depende de su tamaño y se mantiene prácticamente constante con las variaciones de la intensidad de luz, sin embargo, la corriente producida por una celda es directamente proporcional a la intensidad de luz que incide sobre ésta (Valdiviezo, 2014).

2.2.12 Tipos de celdas solares

Hoy en día, existen diversos tipos de Celdas Solares con una serie de tecnologías, cada una de ellas tiene incomparables propiedades y se debe elegir la más apropiada (Valdiviezo, 2014): donde el material más utilizado para fabricar celdas solares es el silicio; De acuerdo a las técnicas de fabricación empleadas las celdas de silicio se pueden dividir en tres grupos:

- Celdas de Silicio Monocristalino.
- Celdas de Silicio Policristalino
- Celdas de Silicio Amorfo o película fina.

Figura 38: Tipos de células fotovoltaicas



FUENTE: Tomada de Valdiviezo (2014)

- **Celdas de Silicio Monocristalino**

La fabricación de éste tipo de celdas consiste en fabricar barras cilíndricas de silicio monocristalino (un solo cristal de silicio), en hornos especiales a aproximadamente 1400°C y luego cortarlas obteniendo obleas delgadas (celdas) de entre 0,4 y 0,5mm de espesor, las cuales son las que presentan máxima eficiencia, superior a un 12% hasta un 17%, pero también son las más costosas debido a que su proceso de fabricación es el más complejo. (Solartronic, s.f).

- **Celdas de Silicio Policristalino**

El proceso de fabricación consiste en fundir trozos de silicio puro en moldes especiales, luego se deja enfriar hasta que el producto esté totalmente solidificado; en este proceso los átomos no se organizan en un único cristal, sino que por el contrario se obtiene un material policristalino, donde una vez solidificado se procede a cortar las obleas de dicho material obteniendo las celdas. (Curi, 2014).

Este proceso de fabricación es menos complejo que el de las celdas monocristalinas, esto se traduce a menos costo por celda, pero también a menor eficiencia, hasta un 15% de eficiencia; al realizar una comparación resulta que una celda de silicio monocristalino de 12,5cm x 12,5cm (156cm²) tiene la capacidad de generar aproximadamente 0,51V de tensión y 4,8A de corriente continua en condiciones de irradiación solar de 1000W/m², mientras que una celda de silicio policristalino de 11,5cm x 15,5cm (178cm²), bajo estas mismas condiciones, es capaz de generar aproximadamente 0.47V y 4,75A (Curi, 2014).

- **Celdas de Silicio Amorfo o película fina**

La fabricación de éste último tipo de celda consiste en depositar una película muy delgada de silicio sobre superficies de vidrio o metal. Esta es la menos eficiente, entre 5 y 10%, pero el proceso de fabricación es el más económico, donde las celdas de película fina también son fabricadas con otros materiales, tales como seleniuro de cobre e indio, telurio de cadmio, arseniuro de galio, entre otros. (Curi, 2014).

Tabla 20: Eficiencia de células fotovoltaicas

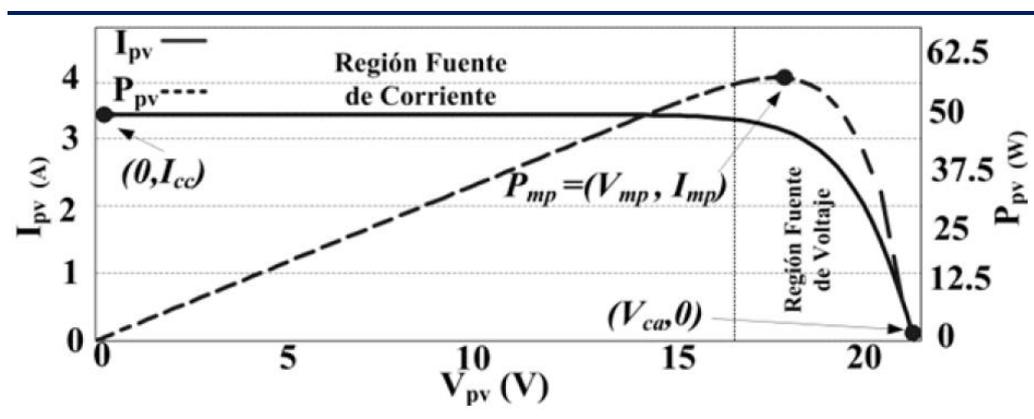
Celda Solar	Eficiencia
Mono-crystalline silicon	12.5-17%
Poly-crystalline silicon	11-14%
Copper Indium Gallium Selenide(CIGS)	10-13%
Cadmium Telluride (CdTe)	9-12%
Amorphous Silicon(a-Si)	5-10%

FUENTE: Adaptado de, Valdiviezo (2014)

2.2.13 Curva característica

Toda celda solar fotovoltaica tiene dos curvas características, conocidas como curvas de intensidad-voltaje (I-V) y curva de potencia-voltaje (P-V); En ellas podemos observar el comportamiento del panel y sus valores de tensión e intensidad de salida cuando el panel trabaja en unas condiciones ambientales determinadas, generalmente viene dada para condiciones STC (Standard Test Condition) (Quispe y Poccori, 2021).

Figura 39: Curva corriente vs tensión de una celda solar



FUENTE: Quispe y Poccori, (2021).

Los parámetros de operación que sobresalen en la curva de una celda solar son:

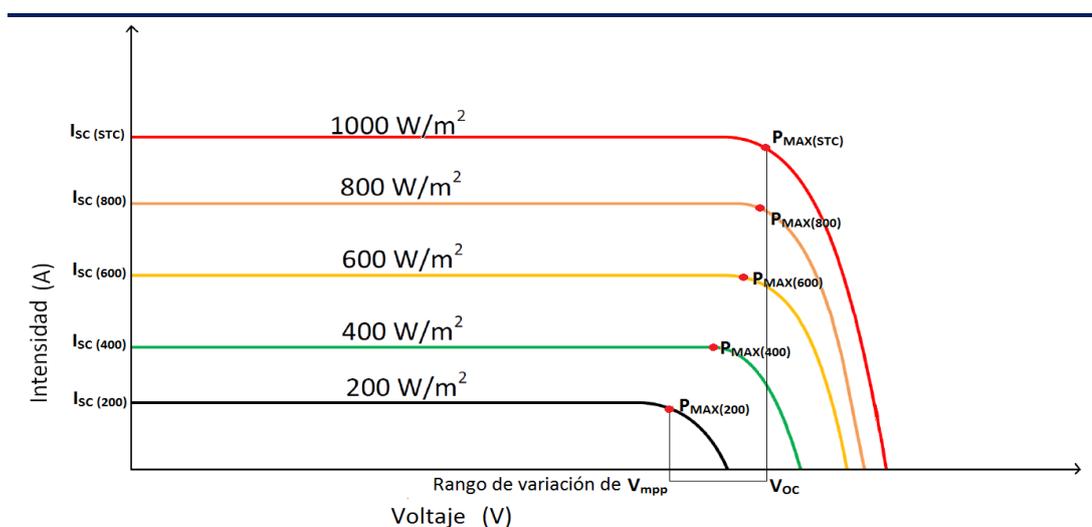
- **Corriente de cortocircuito (I_{cc}):** Es la corriente de salida cuando la tensión de salida es nula, bajo condiciones de radiación, temperatura y distribución espectral específicas, esta equivale a la máxima corriente que puede entregar la celda (Hurtado, 2017).
- **Tensión de circuito abierto (V_{ca}):** Es la tensión de salida cuando la corriente de salida es cero, bajo condiciones de radiación, temperatura y distribución espectral específicas, y corresponde a la máxima tensión que puede entregar la celda. (García, 2017).

- **Potencia Pico (P_{mp}):** Es la máxima potencia que la celda es capaz de entregar, que corresponde al punto en el que el producto $V \times I$ es máximo y se toma como potencia nominal de la celda.
- **Corriente a máxima potencia (I_{mp}):** Es la corriente de salida en el punto de máxima potencia, bajo condiciones de radiación, temperatura y distribución espectral específicas, esta se toma como corriente nominal de la celda. (García D., 2017).
- **Tensión a máxima potencia (V_{mp}):** Es la tensión de salida en el punto de máxima potencia, bajo condiciones de radiación, temperatura y distribución espectral específicas, la cual se toma como tensión nominal de la celda. (Correa, 2018).

2.2.13.1 Influencia de la radiación en la eficiencia de una celda solar

Al entender y definir el comportamiento de una celda solar para condiciones de radiación constante, se procede a evaluar el comportamiento de la tensión y corriente al variar la radiación que se presenta.

Figura 40: Variación de la corriente y tensión con la radiación



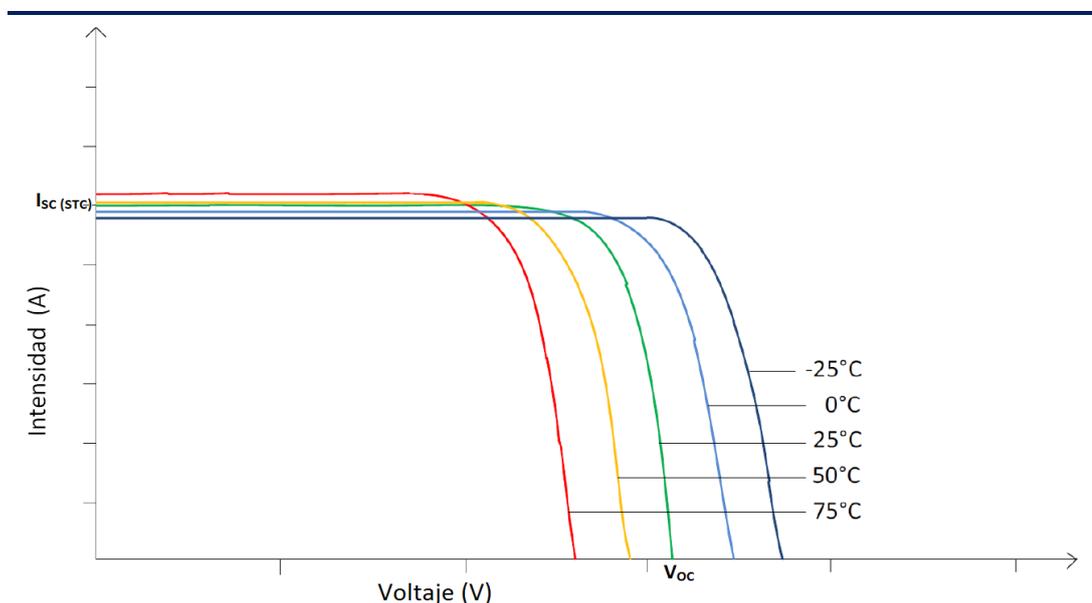
FUENTE: Adaptado de (<https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/11/09/influencia-de-la-irradiacion-y-temperatura-sobre-una-placa-fotovoltaica>).

Al realizar variaciones en la radiación, podemos observar en la curva corriente vs tensión que, la corriente producida por la celda es directamente proporcional a la radiación, esto indica que si disminuye la radiación también lo hará la corriente; mientras la tensión tiene una variación mínima.

2.2.13.2 Influencia de la temperatura en la eficiencia de una celda solar

Otro factor que influye sobre el comportamiento de la celda es la temperatura, en la cual los efectos de aumento de temperatura hacen que aumente ligeramente la corriente producida, provoca una considerable reducción en el voltaje, lo que da como resultado final una considerable reducción en la potencia entregada por la celda, por esta razón se recomienda tener las celdas en lugares aireados (García, 2017).

Figura 41: Variación de la corriente y tensión con la temperatura



FUENTE: Adaptado de (<https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/11/09/influencia-de-la-irradiacion-y-temperatura-sobre-una-placa-fotovoltaica/>)



2.2.14 Paneles o módulos solares

Dado que una sola celda fotovoltaica no genera la energía suficiente para alimentar a los equipos eléctricos existentes en el mercado, éstas son agrupadas en arreglos serie y/o paralelo llamados módulos fotovoltaicos, también conocidos como paneles solares, donde las celdas son agrupadas de tal manera que el módulo sea capaz de alimentar equipos que cumplan con el estándar de 12V, de la cual existen módulos solares de 36 celdas solares en serie, que dan como resultado un voltaje pico de salida de 18V, los cuales son utilizados para cargar acumuladores (o baterías) de 12V. (Correa, 2018).

El comportamiento de un panel solar es equivalente al descrito para una celda solar, y al igual que ésta, para caracterizar un panel fotovoltaico se emplea la curva corriente vs tensión que define sus parámetros más importantes, tal y como son: corriente de cortocircuito (I_{cc}), tensión de circuito abierto (V_{ca}), potencia pico (P_{mp}), corriente a máxima potencia (I_{mp}), y tensión a máxima potencia (V_{mp}); dado que los paneles solares son fabricados para proveer electricidad a sistemas en la intemperie, es necesario fabricarlos de tal manera que sean resistentes a los agentes climáticos (“Solartronic”, s.f.).

2.2.14.1 Orientación de un panel solar

La luz solar llega a la Tierra en línea recta, sin embargo, una vez que entra en la capa atmosférica sólo una parte de esta luz sigue su trayectoria inicial, la otra parte es dispersada por los gases; De esta forma la luz solar que llega a la superficie puede presentarse en dos formas: luz solar difusa y luz solar directa. (García, 2017).

Un panel solar es capaz de generar corriente eléctrica incluso en un día nublado en el que solo percibe luz solar difusa, sin embargo, la condición para una óptima

producción de corriente eléctrica es el captar la mayor cantidad de luz solar directa posible, por esto al instalar paneles o grupos de paneles solares se busca orientarlos lo mejor posible hacia el sol, de modo de aprovechar al máximo la luz solar directa, donde la mejor orientación para un panel solar ubicado en el Hemisferio Norte es hacia el Sur y para un panel solar ubicado en el Hemisferio Sur es hacia el Norte (García, 2017).

2.2.14.2 Ángulo de inclinación de un panel solar

La orientación de un panel solar viene dada por un ángulo de inclinación del mismo hacia dicha orientación, el cual varía de acuerdo a la latitud en la que se esté ubicado y a la época del año; La posición del Sol con respecto a la Tierra varía a lo largo del año debido a los movimientos de rotación y traslación de la misma, por tal razón la mejor orientación en época de invierno no es la mejor en época de verano, de acuerdo a esto, en el diseño se debe escoger la orientación más óptima capaz de aprovechar el máximo de energía solar posible en un año (Pereda, 2005).

Tabla 21: Ángulo de inclinación óptimo según la latitud

Latitud del lugar	Angulo en Invierno	Angulo en Verano
0 a 15°	15°	15
15° a 25°	Latitud	Latitud
25° a 30°	Latitud + 5°	Latitud - 5°
30° a 35°	Latitud + 10°	Latitud - 10°
35° a 40°	Latitud + 15°	Latitud - 15°
> 40°	Latitud + 20°	Latitud - 20°

FUENTE: Atlas Solar del Perú, (2003)

2.2.15 Sistema solar fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico aislado o autónomo es denominado auto abastecedor de energía eléctrica, ya que aprovecha la irradiación solar para generar y suministrar de



energía a una instalación, y que su función básica es convertir la radiación solar en electricidad; donde la corriente producida por el módulo fotovoltaico es continua a un voltaje que generalmente es de 12 V, dependiendo de la configuración del sistema puede ser de 24 V ò 48 V. (Pareja, 2010).

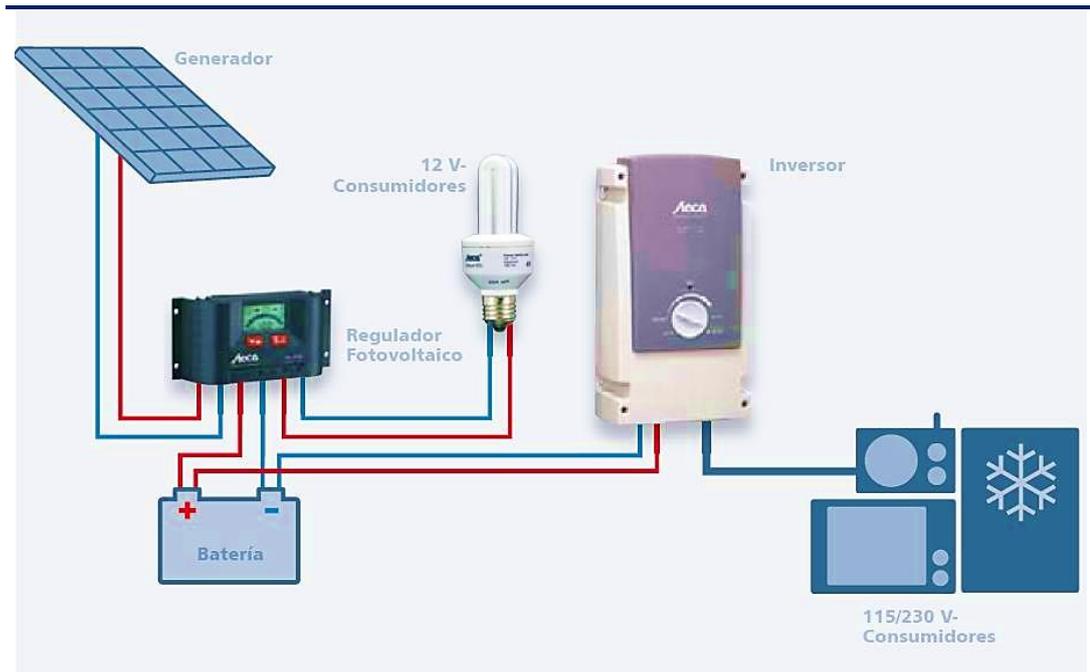
Asimismo, la energía eléctrica producida se almacena en baterías, para que pueda ser utilizada en cualquier momento, fundamentalmente cuando la radiación solar cesa; Esta acumulación de energía debe estar dimensionada de forma que el sistema siga funcionando incluso en periodos largos de mal tiempo y cuando la radiación solar sea baja (por ejemplo, cuando sea un día nublado), de esta forma se asegura un suministro prácticamente continuo de energía. (Pareja, 2010).

El sistema solar Fotovoltaico está constituido por; panel, controlador de carga, acumulador de energía, el inversor, conductores eléctricos, la estructura y otros elementos auxiliares, además el sistema fotovoltaico independientemente de su utilización y del tamaño de potencia se puede dividir en dos categorías: Aislados y conectados a la red (Fernández, 2009, p.1 08).

2.2.16 Componentes de un Sistema Fotovoltaico

El sistema fotovoltaico aislado está compuesto por los elementos básicos como: panel o modulo solar, controlador de carga, batería, inversor, conductor, protección y accesorios. (Pareja, 2010).

Figura 42: Componentes de un sistema fotovoltaico

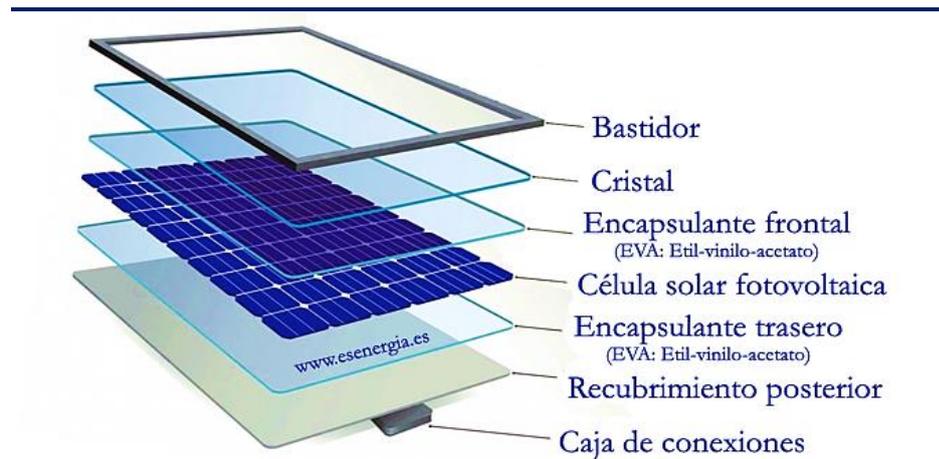


FUENTE: Adaptado de (http://www.aresol.com/a_cred.html).

2.2.16.1 Módulo solar fotovoltaico

Se define como un conjunto de células conectadas en serie o paralelo de tal forma que la tensión y corriente del panel sea ajustado al requerimiento deseado, los componentes adicionales que permiten su operatividad y protección son: la cubierta exterior de cara al sol (vidrio), Encapsulante (silicona o EVA etelin-venil-acetato), protección posterior, marco metálico, cableado y borne de conexión y el diodo de protección (Pareja, 2010).

Figura 43: Estructura del panel solar fotovoltaico



FUENTE: Adaptado de, (<https://solar.eyr.mx/construccion-de-paneles-solares/>).

La eficiencia de conversión es la relación entre la energía eléctrica generada y la energía luminosa utilizada. (Fernández, 2009).

$$\eta(\%) = (Energia\ Generada/Energia\ incidente) \times 100$$

$$\eta = \frac{P_{max}}{G \times A_C} = \frac{FF \times (V_{OC} \times I_{SC})}{G \times A_C}$$

Con los avances tecnológicos que se tienen actualmente las células fotovoltaicas que se producen a escala industrial tienen una eficiencia entre 11-17%.

Parámetros del panel fotovoltaico.- Los básicos a considerar según Moro (2010) son:

Potencia máxima o potencia pico del módulo (P_{max}).- Si se conecta una cierta carga al panel, el punto de trabajo vendrá determinado por la corriente I y la tensión V existentes en el circuito; Estos habrán de ser menores que los I_{sc} y V_{oc} , donde la potencia P que el panel entrega a la carga está determinada por la ecuación genérica:

$$P = I \times V$$



A su valor más alto se le llama potencia máxima o potencia pico del módulo; Los valores de la corriente y de la tensión correspondiente a este punto se conocen respectivamente como:

- **I_{pmax}** .- Intensidad cuando la potencia es máxima o corriente en el punto de máxima potencia
- **V_{pmax}** .- la tensión cuando la potencia también es máxima o tensión en el punto de máxima potencia.

Otros parámetros son:

Corriente de cortocircuito (I_{scG}), que se obtiene al cortocircuitar los terminales del panel ($V=0$) que al recibir la radiación solar, la intensidad que circularía por el panel es de corriente máxima

Tensión de circuito abierto (V_{ocG}), que se obtiene de dejar los terminales del panel en circuito abierto ($I=0$), entre ellos aparece al recibir la radiación una tensión que será máxima. (Moro, 2010).

Irradiancia (G): $1000W/m^2$ ($1 KW/m^2$). (Moro, 2010).

Temperatura de la celda (célula): $25^{\circ}C$

Otro parámetro que debería ser suministrado es la **TONC** (Temperatura de Operación Nominal de la Célula), dicho parámetro se define como la temperatura que alcanzan las células solares cuando se somete al módulo a las siguientes condiciones de operación (Pareja, 2010):

- Irradiancia: $1000W/m^2$
- Temperatura ambiente: $25^{\circ}C$.
- Incidencia normal.
- Espectro radiante o masa de aire: AM 1.5. (Pareja, 2010).



Factor de forma (FF).- Es el cociente entre la potencia máxima y el producto de la tensión de circuito abierto por la intensidad de cortocircuito. (Moro 2010, p 42).

$$FF = \frac{V_{Pmax} \times I_{Pmax}}{V_{OC} \times V_{SC}}$$

El factor de forma es siempre menor a uno y es un parámetro de la calidad de la célula, por consiguiente, para las células cristalinas, el factor de forma esta entre 0,7 y 0,85.

2.2.16.2 Controlador o regulador de carga

Es un dispositivo electrónico que cumple dos funciones esenciales en una instalación aislada; proteger la batería y tratar de obtener en cada momento la máxima potencia de los módulos fotovoltaicos; El regulador controla la carga de la batería e interrumpe la conexión con los paneles en caso de que éste esté completamente cargado e inverso cuando su carga desciende por debajo de un cierto umbral, corta la conexión con la red de consumo para evitar que una descarga demasiado profunda dañe el acumulador (Moro, 2010, p.61).

Figura 44: Controlador o Regulador de Carga



FUENTE: Adaptado de (<https://es.dhgate.com/product/pwm-solar-charge-regulator-10a-20a-30a-12v/424316990.html>).

2.2.16.3 Acumulador de energía eléctrica

Denominado también **batería** que almacena una determinada cantidad relativamente pequeña de energía eléctrica, su fabricación es cara en comparación a la capacidad de almacenamiento, su ciclo de vida es ligeramente corto y su deposición después de su uso genera residuos contaminantes; En la configuración de una instalación se plantea qué características deberá tener el acumulador que se emplee; para determinar ello, es necesario conocer: el consumo medio diario (LD), la autonomía que deberá tener la instalación, es decir, cuántos días podrá funcionar en ausencia total de generación eléctrica (FSB), finalmente es necesario conocer la profundidad máxima de descarga (PDmax) a la que se someterá la batería (Moro, 2010, p.61).



Con la siguiente ecuación nos ayudaremos a dimensionar la batería:

$$C_B = \frac{L_D \times F_{SB}}{PD_{max}}$$

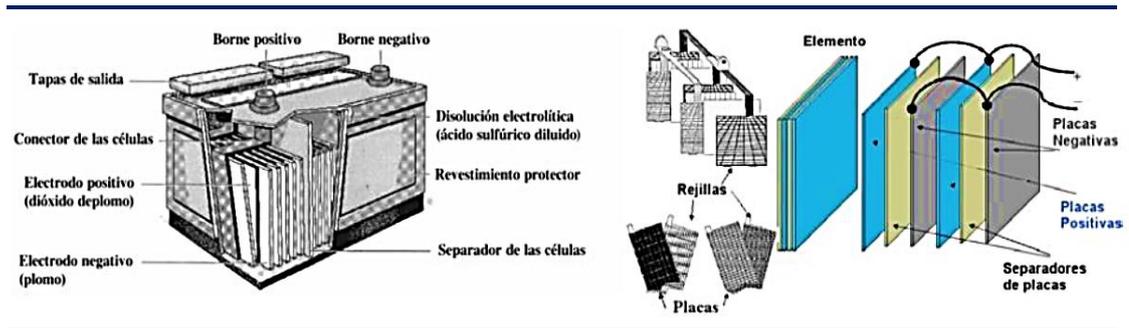
Principio de operación

Para los sistemas fotovoltaicos autónomos las baterías o acumuladores que son utilizados tienen como principal función el almacenamiento de energía, ya que durante el día nuestros paneles solares se encuentran generando energía, misma que es almacenada en las baterías y durante la noche se consume esta energía debido a la operación de las cargas. (Moro, 2010)

La gran mayoría de las baterías usadas para este propósito son de Plomo-ácido (Pb-a), las cuales se adaptan bien a la operación de los sistemas fotovoltaicos pero haciendo los mantenimientos correspondientes, Además de encontrar baterías de Plomo- Calcio (Pb-Ca) y Plomo Antimonio (Pb-Sb); Las primeras requieren un menor mantenimiento y tienen menor auto-descarga, mientras que las segundas se deterioran menos con el uso diario y presentan menores prestaciones para niveles bajos de carga. (Alonso, 2012).

Las baterías son células electroquímicas en las que las reacciones que se producen en los electrodos son reversibles y por esta razón pueden ser utilizados para almacenar energía y posteriormente liberarla cuando son conectados a un circuito de carga que demanda energía; Dichas células electroquímicas están compuestas principalmente por placas, materia activa y electrolito. (Alonso, 2012).

Figura 45: Elementos de una batería

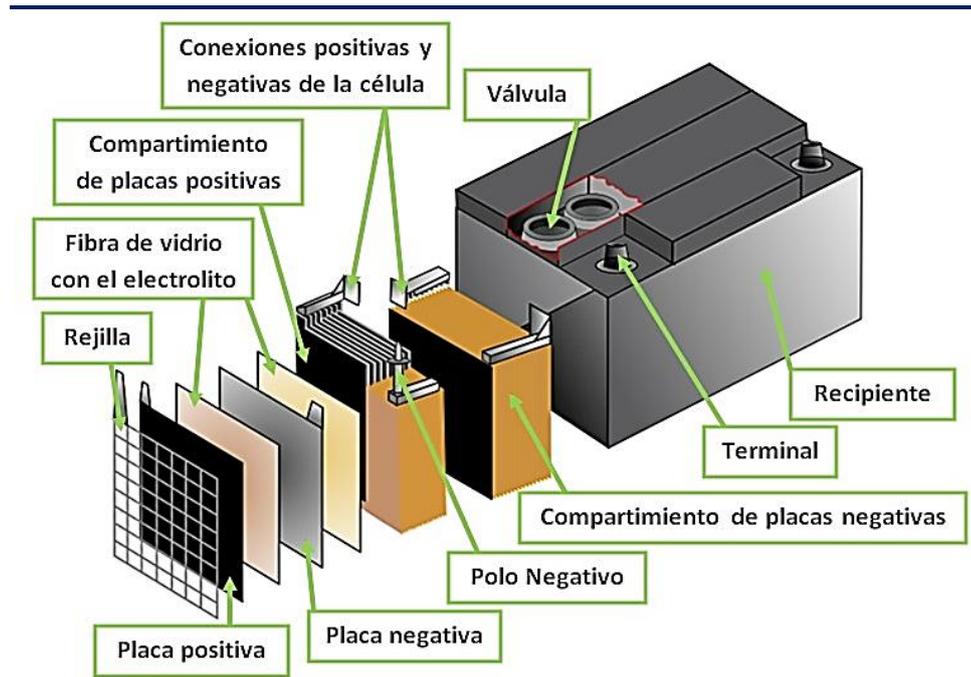


FUENTE: Alonso, (2012).

Características de funcionamiento

El régimen de carga o descarga define la intensidad de la corriente eléctrica utilizada en el proceso, dicho régimen se expresa en forma normalizada en relación a la capacidad en amperios-hora; De manera práctica, si tenemos una batería de 100 Ah, la descarga completa con una corriente de 20A dura 5 horas, lo que indica un régimen de I (C5), donde los regímenes que generalmente se usan para las aplicaciones fotovoltaicas están en el rango de corrientes que corresponden a descargas de 10 a 100 horas, I (C10) a I (C100). (Alonso, 2012).

Figura 46: Componentes de batería solar



FUENTE: Tomado de, (<https://www.generatuluz.com/tu-propia-instalacion-aislada/tipos-de-baterias-y-sus-caracteristicas/>).

Ciclos de la batería

Un ciclo es una descarga y carga de una batería; La descarga es el proceso en el que la batería suministra una corriente durante determinado tiempo (régimen de descarga), mientras en la carga la batería recibe o acepta una determinada corriente durante un tiempo determinado (régimen de carga), en consecuencia se considera un ciclo como una descarga seguida de una carga, estas puede ser muy pequeña o muy profunda (en nuestra aplicación profunda), la profundidad de descarga afecta a la vida útil de la batería, el número de ciclos carga/descarga de una batería desciende con la profundidad de descarga y generalmente una batería ha finalizado su vida útil cuando ha perdido un 20% de su capacidad inicial (Alonso, 2012).

Capacidad de la batería

Es la capacidad que tiene una batería para almacenar o suministrar energía eléctrica y se expresa en Ah Amperios/hora; Esto es, si tenemos una batería de 100 Ah

de capacidad nominal, esta puede suministrar 100A durante 1 hora, o 50A durante 2 horas, o 25A durante 4 horas, esto dependiendo la temperatura de uso, los fabricantes recomiendan que estas operen entre los 20 y 30°C; Esta capacidad se especifica a un determinado régimen de descarga y depende de factores de diseño (cantidad de material activo, dimensiones de las placas y densidad del electrolito) y operacionales (régimen de descarga, profundidad de descarga, voltajes de corte, temperatura y ciclos de operación), donde la temperatura es un factor que disminuye la capacidad de la batería. (Alonso, 2012).

En las aplicaciones fotovoltaicas los tiempos de descarga están alrededor de 10-300 horas, por ejemplo la descarga de una batería de un sistema FV autónomo diseñado para 7 días de autonomía por 12 horas/día= 84 horas lo que significa que la batería se descargue al 80% de la profundidad de la descarga (DOD), esto para las baterías de ciclo profundo. (Correa, 2012).

2.2.16.4 Elementos eléctricos auxiliares

Como elementos auxiliares tenemos los conectores, cables que son necesario para conducir la energía eléctrica hasta el controlador y los acumuladores. En dichos elementos se generan pérdidas por el principio termodinámico que depende de la resistencia del cable y de la intensidad de corriente que circula por él, y podemos calcular por la Ley de Ohm:

$$\Delta V = R_C \times I$$

$$R_C = \rho \times \frac{L}{S}$$

La elección de los conductores se realizara de acuerdo a la corriente que circula por dicho tramo, para así reducir las caídas de tensión y los calentamientos que generan

pérdidas. En el presente proyecto nos basamos al código nacional de electricidad, para determinar la sección del conductor, para ello se considerará las caídas de tensión en el cableado que no sean superiores al 1,5% y la temperatura no debe exceder a los 70 °C.

2.2.17 Estructura de soporte

2.2.17.1 Selección del poste de alumbrado público.

Para el alumbrado público que utiliza paneles fotovoltaicos y luminarias LED se recomienda postes metálicos que se rigen a las norma internacional NTC y las ET204 “Postes Metálicos para alumbrado público” de CODENSA los cuales serán de acero galvanizado, con características que cumplen todo los requerimientos de trabajo en exteriores.

Tabla 22: Características generales de postes metálicos

Descripción	Diámetro de la cima (mm)	Diámetro de la base (mm)	Espesor de lámina (mm)	Placa de la Base			
				Espesor (mm) “C”	Lado (mm) “B”	Distancia entre huecos (mm) “A”	Diámetro de los huecos (mm)
Poste 9 m	127	190	3	12	400	300	22
Poste 10 m	127	190	3	12	400	300	22
Poste 12 m	127	210	3	12	400	300	22
Poste 14 m	127	250	3	19	500	400	24

FUENTE: Tomado de Codensa, (2021).

2.2.17.2 Anclaje de poste.

Para el izado del poste metálico es fundamental que este correctamente anclado, cuando se instale la zapata o base del poste es preciso que se tome en cuenta el peso y altura de la luminaria (Mamani, 2017).



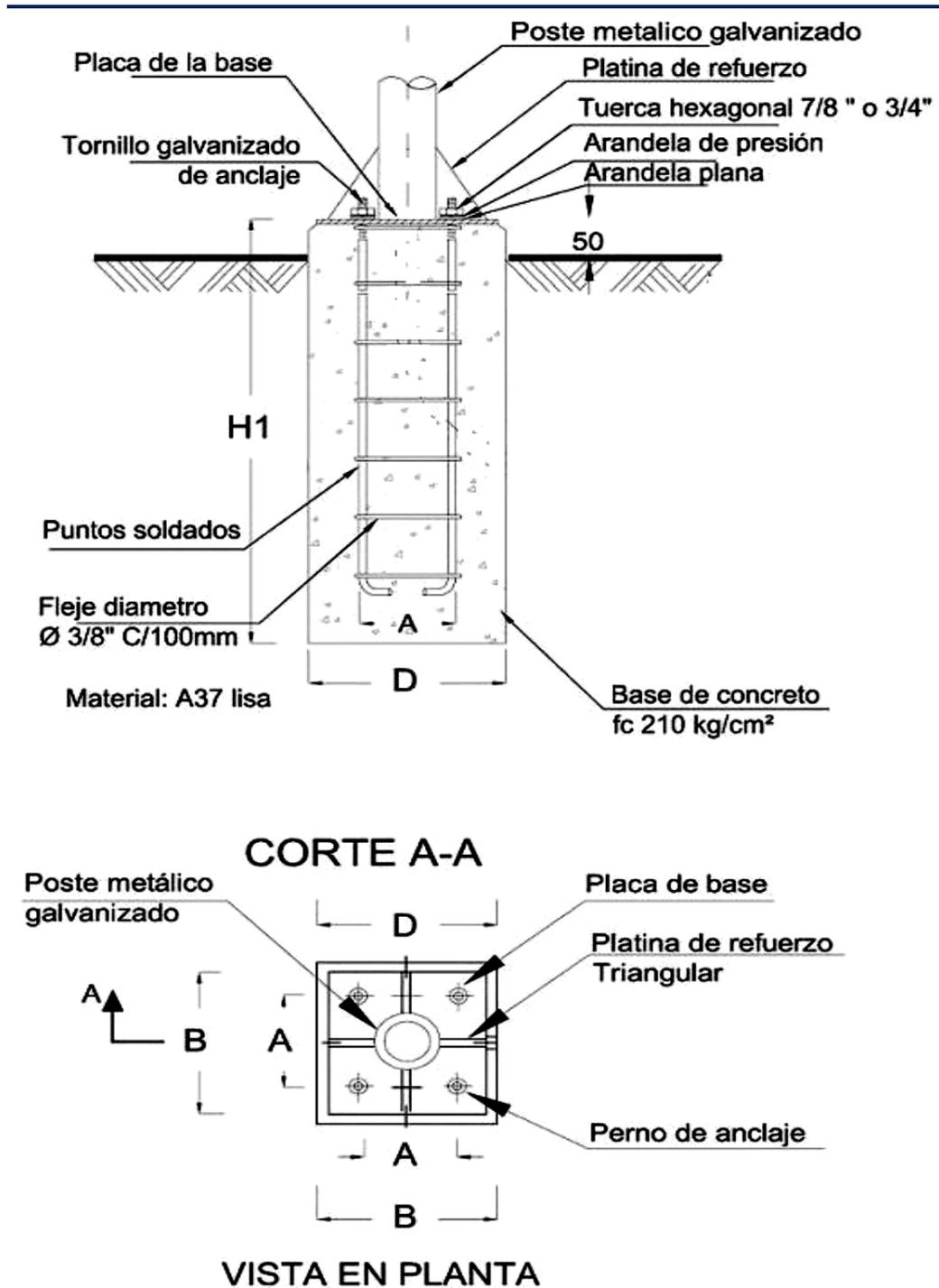
Tabla 23: Dimensionamiento general de cimentación de postes metálicos

Altura (H) m	Long cimt. (H1) mm	D (mm)	A (mm)	B (mm)	Perno diam. (mm)	Long perno (mm) L1	Diámetro del orificio (mm)
9	1100	450	300	400	19 (3/4")	1200	22
10	1100	450	300	400	19 (3/4")	1200	22
12	1300	450	300	400	19 (3/4")	1500	22
14	1300	550	400	500	22 (7/8")	1500	24

FUENTE: Tomado de Codensa, (2021).

La cimentación para los postes metálicos es necesario que sea una cimentación en concreto armado con sus respectivos pernos de anclaje que sujetaran al poste, el cual tendrá una profundidad de 1.10m como mínimo.

Figura 47: Detalle de Anclaje de poste metálico



FUENTE: Adaptado de, Codensa, (2021).

2.2.18 Análisis económico en proyectos de ingeniería

La evaluación económica financiera de proyectos de ingeniería se realiza principalmente con los siguientes parámetros de análisis:

2.2.18.1 Valor actual neto (VAN)

Es un indicador financiero que mide los flujos de los ingresos y egresos futuros que tendrá un proyecto, para determinar, si luego de descontar la inversión inicial, queda una ganancia; el cual, es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros (ingresos menos egresos), donde el método, además, descuenta una determinada tasa o tipo de interés igual para todo el período considerado. (Lujan & Escobar, 2017).

La tasa de interés con la que se descuenta el flujo neto proyectado, es la tasa de oportunidad, rendimiento o rentabilidad mínima esperada (Lujan & Escobar, 2017):

- Cuando la inversión resulta mayor que el BNA (beneficio neto actualizado), es decir un ($VAN < 0$), es porque no se ha satisfecho dicha tasa
- Cuando el BNA es igual a la inversión ($VAN = 0$) es porque se ha cumplido dicha tasa
- Cuando el BNA es mayor que la inversión ($VAN > 0$) es porque se ha cumplido con dicha tasa y además, se ha generado un beneficio adicional.

Al determinar el valor del VAN de un proyecto de inversión, se puede entender que un proyecto es viable o no. Similarmente el VAN nos permite determinar cuál de los distintos proyectos es el más rentable.

La fórmula que nos permite calcular el VAN (Valor Presente Neto) es:

$$VAN = -I + \frac{BN_1}{(1+i)^1} + \frac{BN_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{BN_n}{(1+i)^n}$$

Donde:

BN_n: beneficio neto (ingresos menos egresos) del periodo n

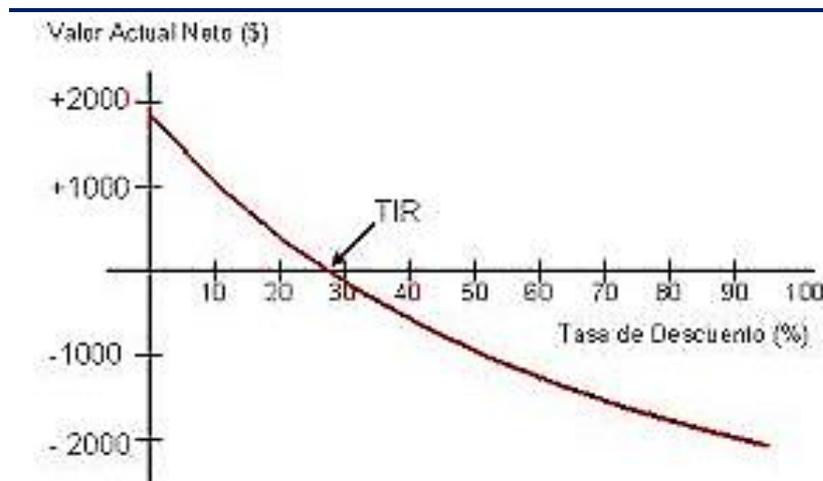
I: inversión inicial

i: tasa de interés anual (costo de oportunidad del capital)

2.2.18.2 Tasa interna de retorno (TIR)

La TIR está definida como la tasa de interés con la cual el valor actual neto o valor presente neto (VAN) de una inversión sea igual a cero ($VAN = 0$); Recordemos que el VAN es calculado a partir del flujo de caja anual, trasladando todas las cantidades futuras al presente (valor actual), aplicando una tasa de descuento. (Lujan & Escobar, 2017).

Figura 48: VAN vs tasa de interés



FUENTE: Tomado de, (<https://sites.google.com/site/joseandresmarquezmorataytir/>).

Cuando el TIR es mayor que la tasa de interés (i) entonces es conveniente realizar la inversión (Lujan M. & Escobar G., 2017):

- Si la TIR es menor que la tasa de interés, el proyecto debe rechazarse.
- Cuando la TIR es igual a la tasa de interés, el inversionista es indiferente entre realizar la inversión o no.



La ecuación para cálculo del VAN es la siguiente formula:

$$VAN = -I + \frac{BN_1}{(1 + TIR)^1} + \frac{BN_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{BN_n}{(1 + TIR)^n} = 0$$

Donde:

BNn: Beneficio neto efectivo

I: Inversión (realizada para ejecutar el proyecto)

n: Vida Útil del proyecto

TIR: Tasa Interna de Retorno.

2.2.19 Marco Normativo

En el Estado Peruano, en la Ley de Concesiones Eléctricas y su reglamento (M.E.M., 1992), contempla en el Artículo 99°.- Los estudios, proyectos y obras de las instalaciones necesarias para la prestación del Servicio Público de Electricidad, deberán ser efectuados cumpliendo con los requisitos que señalen el Código Nacional de Electricidad y demás Normas Técnicas (MEM, 2013).

Asimismo en la Ley de Concesiones Eléctricas (M.E.M., 1992) establece en su Artículo 94°.- 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 (Lozano Núñez, 2014).

Adicionalmente, al conocimiento técnico de parámetros y componentes para la iluminación eficiente de una vía, se hace necesario, conocer y aplicar la normativa peruana denominada “Norma Técnica de Alumbrado de Vías Públicas en Zonas de



Concesión de Distribución”, con número de Resolución Ministerial N°013-2003-EM/DM, que asegura, para cada tipo de vía la iluminación mínima requerida (Labán Hajar, 2018).

Según la norma técnica DGE: “ALUMBRADO DE VÍAS PÚBLICAS EN ZONAS DE CONCESIÓN DE DISTRIBUCIÓN” (RM. N° 013-2003-EM/DM); 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.(MINEM, 2002b).

2.2.19.1 Normas generales

- Decreto Legislativo N° 25844 – Ley de Concesiones Eléctricas y su Reglamento (enero, 2008)
- Ley N° 28832 – Ley para asegurar el desarrollo eficiente de la generación eléctrica (julio, 2008): Promueve licitaciones y contratos a largo plazo.
- Decreto Supremo N° 064-2010-EM – Política Energética Nacional del Perú (noviembre, 2010)

2.2.19.2 Marco normativo de RER

- Decreto Legislativo N° 1002: Ley de promoción de la inversión para la generación eléctrica con el uso de energías renovables (mayo 2008).
- Decreto Supremo N° 012-2011: Reglamento de la generación de electricidad con energías renovables (marzo 2011), Modificado por el Decreto Supremo N° 031-2012-EM y Decreto Supremo N°024-2013-EM.



- Decreto Supremo N° 020-2013-EM: Reglamento para inversión de la inversión energética en áreas no conectadas a red (off grid). (junio, 2013).

2.2.19.3 Procedimientos regulatorios – Osinergmin

- Resolución N° 200-2009-OS/CD: Procedimiento sobre hibridación de instalaciones para generación RER (octubre, 2009).
- Resolución N° 001-2010-OS/CD: Procedimiento de cálculo de prima para la generación RER. (enero, 2010).
- Resolución N° 289-2010-OS/CD: Procedimiento sobre cálculo de la energía dejada de inyectar por causas ajenas al generador RER. (diciembre 2010).
- Procedimiento Técnico del COES N°20: Procedimiento sobre el ingreso, modificación y retiro de instalaciones en el SEIN – COES (abril 2021).

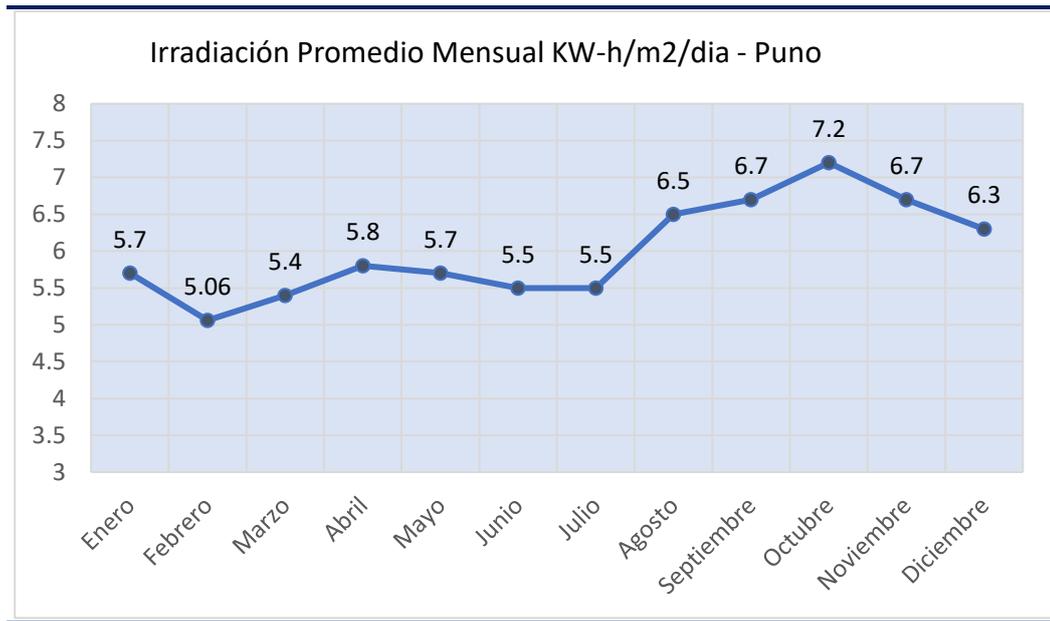
2.3 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACION LED CON PANELES FOTOVOLTAICOS

2.3.1 Estimación del Nivel de Radiación Solar

Para el presente proyecto de investigación los datos meteorológicos de radiación solar se recogen de Atlas Solar del Perú que están en concordancia con los datos de la NASA, adicionalmente dichos valores son similares a los de la estación meteorológica de Juliaca.

En la Figura 49, se detallan los valores de irradiación promedios mensuales para los ángulo de 5° a 20°. En el Distrito de Juliaca, provincia San Román y departamento de Puno.

Figura 49: Radiación Solar en Puno



FUENTE: Adaptado de, Atlas Solar del Perú, (2003)

Observando la figura N° 49, para realizar cálculos razonables, elegimos la irradiación solar promedio anual con el valor más bajo, asegurando la selección adecuada del sistemas solar fotovoltaica, el cual es **5.06 kW-h/m2**.

2.3.2 Inclinación óptima de los paneles

La inclinación de los paneles fotovoltaicos puede variar a lo largo del año en función de la latitud del lugar.

Los paneles fotovoltaicos estacionarios deben estar orientados hacia el norte y para determinar el ángulo de inclinación óptima de una superficie se utiliza una formula basada en análisis estadísticos de radiación solar anual sobre superficie (Mejia, 2018).

Para una latitud del lugar de la zona del proyecto que es -15.4933 , se determina el ángulo óptimo con la siguiente Ecuación:

$$B_{opt} = 3.7 + 0.69 \times |\varphi|$$



$$B_{opt} = 3.7 + 0.69 \times |-15.4933|$$

$$B_{opt} = 14.39$$

Donde; B_{opt} es el ángulo de inclinación óptima (grados), $|\varphi|$ es la latitud del lugar (grados). Se obtuvo un ángulo de inclinación de 14.39° , sin embargo observando la Tabla 21, se obtiene la mejor radiación en el rango de 5° a 20° , una inclinación de 15° por lo tanto, se tomara ese dato como recomendación para su instalación del panel fotovoltaico.

2.3.3 Selección de luminarias para el alumbrado público

Para el presente sistema de iluminación de alumbrado público alimentada mediante energía fotovoltaica se tiene mucha importancia en seleccionar una lámpara de alta eficiencia y de bajo consumo de energía, debido a que su autonomía depende de la capacidad de los paneles fotovoltaicos y la batería (libre de mantenimiento).

Teniendo en consideración las Normas Técnicas Peruanas, el alumbrado público esta normado por la ley de Concesiones Eléctricas D.L. N°25844 y su reglamento, el Código Nacional de Electricidad, la norma DGE “alumbrado de vías públicas en zonas de concesión de distribución”; En esta norma se define el nivel de iluminación para cada tipo de alumbrado de vía de acuerdo a la intensidad del tráfico, el tránsito de peatones y velocidad de los vehículos (MINEM, 2002b).

El proyecto de iluminación se rige según la norma mencionada donde establece que las Luminarias para revestimiento de asfalto, con calzada oscura en acceso de vías locales, la luminancia recomendada debe ser entre (1 - 2) cd/m², la iluminancia entre (20-40) lux e índice de deslumbramiento entre (5-6) y (Tabla 14, 15, 16) (MINEM, 2002b): y que el porcentaje deslumbramiento (TI) estará comprendido entre 10 – 15% como máximo según el tipo de vía.



Adicionalmente en la norma DGE (“Especificaciones técnicas para el suministro de materiales y equipos de redes secundarias para electrificación rural”, s.f.) especifica que las luminarias de alumbrado público deben tener potencias entre 50W a 70W.

Por todo lo anterior mencionado la avenida Circunvalación II se clasifica en tipo de vía colectora 1 y tipo de alumbrado II, y según sus características y dimensiones se divide en dos tramos, para ello se selecciona 2 tipos de luminarias (BGP761T251xLED109 de 65W y BRP392LED80CW de 50W del proveedor PHILIPS), que serán simuladas en el software Ulysse 3 para su conformidad y posterior valoración en el alumbrado público con energía solar.

2.3.4 Cálculos Luminotécnicos.

Para determinar los valores óptimos de iluminación, se realiza el estudio luminotécnico cumpliendo con los niveles de iluminación exigidos por la normatividad, se utilizó el Software de Cálculo Ulysse 3. Teniendo como base los datos recomendados por las normas vigentes como DGE y la CIE 140. En conformidad con las características viales urbanísticas de la Av. Circunvalación II. (Anexo 4).

Para el estudio lumínico se consideraron los siguientes datos:

- Tipo de Vía colectora 1, tipo de alumbrado II
- Tipo de superficie de la Vía : revestimiento de asfalto
- Tipo de calzada : Oscura
- Luminancia Media : 1 – 2 cd/m²
- Iluminancia media, calzada oscura : 20 – 40 lux
- Índice de deslumbramiento (TI) : <10%.
- Uniformidad de Luminancia media : ≥ 0.4



2.3.5 Dimensionamiento y Cálculo del Sistema Fotovoltaico

Para tener claro la viabilidad del uso de la energía solar en el sistema de iluminación del alumbrado público con luminaria LED para la Av. Circunvalación II del distrito de Juliaca, se realizó un análisis de la avenida a iluminar, con el fin de obtener distancia entre postes, la altura del montaje de luminaria LED y del panel fotovoltaico, la potencia de la carga instalada. Cabe mencionar que la Av. Circunvalación II se clasificará en dos tramos por cuestiones de diferencias significativas en su ancho de la avenida y la distribución de calzadas y bermas.

Seguidamente se realizará el dimensionamiento con los cálculos técnicos necesarios que permitan definir claramente las características técnicas de los elementos que conformaran el sistema fotovoltaico, con el fin de establecer parámetros fotométricos y de consumo de energía del sistema solar fotovoltaico junto con sus componentes. A continuación se presenta el dimensionamiento de todos los componentes para el diseño del sistema fotovoltaico.

2.3.5.1 Radiación solar promedio mensual.

Realizando un análisis a los valores obtenidos de los datos meteorológicos, consideramos el valor más bajo que corresponde al mes de febrero, con una irradiación promedio de 5.06 kWh/m²/día, para un ángulo de inclinación de 15°.

2.3.5.2 Luminaria considerada

Se utilizará luminaria LED de 65 W y de 50 W, con análisis en software Ulysse 3 en concordancia con las exigencias de la normativa DGE y la geometría de la Avenida.

2.3.5.3 Potencia requerida.

La potencia requerida se determina con la potencia de la luminaria por el tiempo de alumbrado, el presente proyecto considera 2 luminarias por estructura las cuales estarán dispuestas en la vereda central de la avenida, donde la luminaria será de 65 W cada una, haciendo un total de 130 W.

$$E_{req} = \frac{P_l \times t}{(1 - A_{aut})}$$
$$E_{req} = \frac{130 \times 12}{(1 - 0.005)} = \mathbf{1568} \frac{Wh}{dia}$$

Donde; E_{req} es potencia requerida (Wh/día), P_l es potencia de la luminaria (W), t es tiempo de consumo (h), A_{aut} es el autoconsumo por la luminaria 0.50%.

2.3.5.4 Cálculo del consumo máximo

Se procede a calcular para el caso cuya energía de consumo sea mayor a 1 500 Wh/día, se opta por un voltaje del sistema de 24 V (Gonzales, 2018).

$$I_{max} = \frac{E_{req}}{V_{bat}}$$
$$I_{max} = \frac{1568}{24} = 65.3 \frac{Ah}{dia}$$

Donde; I_{max} es la corriente máxima (Ah/día), E_{req} es la Energía requerida (Wh/día), V_{bat} voltaje de la batería (V).

Se determina que el I_{max} es de 65.3 Ah/día para un voltaje del sistema de 24V.

Calculando el consumo máximo tenemos.

$$C_{max} = \frac{I_{max}}{R}$$

Donde; C_{max} es consumo máximo, I_{max} corriente máxima, R es rendimiento global de instalación.

Para dimensionar una instalación de un sistema fotovoltaico, existen una serie de factores que provocan pérdidas en el rendimiento global “R” el cual, para determinar el consumo máximo, se considera una serie parámetros (Mamani,2017).

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

Donde;

- ***K_b***: ***Coficiente de pérdidas por rendimiento de las baterías:***

Es aquel que indica la fracción de energía que la batería no devuelve con respecto a la absorbida procedente de los paneles, esto se debe principalmente a la energía calorífica que inevitablemente se produce en los procesos químicos de carga y descarga (Gonzales, 2018):

El coeficiente adopta los siguientes valores:

$K_b = 0,05$ en sistemas que no demanden descargas no intensas

$K_b = 0,1$ en sistemas que si sufren estas descargas profundas

- ***K_a***: ***Coficiente por auto descarga diario de las baterías***

$K_a = 0,02$ Para baterías de Ni-Cd (Niquel - Cadmio)

$K_a = 0,005$ Para baterías estacionarias de Pb-Ac (Plomo - Acido)

$K_a = 0,012$ Para baterías de alta autodescarga (Arranque de Vehículos)

- ***K_c***: ***Coficiente de pérdidas por rendimiento en el inversor***

Para el diseño fotovoltaico no utilizaremos inversor ya que la luminaria será de corriente continua (DC), por lo tanto: $K_c = 0$

- ***K_v***: ***Coficiente de pérdidas varias***

Este coeficiente agrupa otras pérdidas de toda la red como rendimiento de la red, efecto Joule, etc. $K_a = [0,05; 0,15]$

- ***P_d***: ***Profundidad de descarga de las baterías***



Con valores entre el 50% en baterías de vasos y el 80% en el resto

Para el diseño del sistema fotovoltaico los valores que se van a utilizar son los siguientes:

$K_b = 0,05$ porque el sistema no está sometida a descargas intensas

$K_a = 0,005$ porque las baterías estacionarias de Pb-ácido son más usadas en sistemas fotovoltaicos.

$K_v = 0,05$ ya que el sistema fotovoltaico es simple y no cuenta con otras pérdidas

$K_c = 0$ ya que no se utiliza inversor

$P_d = 0,65$ profundidad de la descarga de las baterías

$N = 2$ número de autonomía (días sin radiación)

$\eta_b =$ rendimiento de las baterías 90%

Reemplazando en la Ecuación, tenemos:

$$R = (1 - 0.05 - 0.0 - 0.05) \times \left(1 - \frac{0.005 \times 2}{0.65}\right)$$

$$R = 0.89$$

Con el valor obtenido del rendimiento global, reemplazamos en la Ecuación del consumo máximo.

$$C_{max} = \frac{65.3}{0.89}$$

$$C_{max} = 73.6 \frac{Ah}{dia}$$

Se obtiene un resultado con un consumo máximo de 73,6 Ah/día. Con dicho resultado se dimensionará la capacidad de la batería.

2.3.5.5 Cálculo para determinar la capacidad de la batería

Para el cálculo del dimensionamiento de la capacidad de las baterías se debe conocer los días de autonomía del sistema fotovoltaico, debido a que en la ciudad de Juliaca hay meses con poca radiación solar. Consideraremos 2 días de autonomía, un factor de profundidad de descarga máxima, y un factor de corrección de temperatura (Mejía, 2018).

$$C_{bat} = \frac{C_{max} \times N}{P_d}$$

$$C_{bat} = \frac{73.6 \times 2}{0.65}$$

$$C_{bat} = 227 \text{ Ah}$$

Donde; C_{bat} Capacidad total de baterías (Ah), C_{max} consumo máximo (Ah/día),
N Autonomía (días), P_d factor de descarga de batería (65%).

Se obtiene la capacidad de la batería de 227 Ah, para una autonomía de 2 días; por lo tanto, se utiliza una batería con capacidad de 225 Ah, que debería consumir una corriente nominal de 9.3 A.

2.3.5.6 Cálculo para determinar la potencia mínima del panel fotovoltaico.

Para el cálculo de la potencia mínima del panel fotovoltaico, se consideró las HSP, para la zona del proyecto la radiación solar es de 5.06 kWh/m² Se determina con la siguiente ecuación. (Gonzales, 2018).

$$P_{min} = \frac{E_{req}}{HSP \times R}$$

$$P_{min} = \frac{1568}{5.06 \times 0.89}$$

$$P_{min} = 349.7W$$



Donde; P_{min} Potencia mínima del panel solar (W), E_{req} Energía de la luminaria (Wh/día), HSP horas sol pico, R rendimiento global de instalación.

Para determinar la potencia del panel se debe cumplir la siguiente condición, que la potencia instalada del panel solar debe ser menor que la potencia mínima requerida aumentada en 20%.

$$P_p < 1.2 \times P_{min}$$

$$P_p < 1.2 \times 349.7$$

$$P_p < 419.6$$

De acuerdo a los resultados, seleccionamos un panel fotovoltaico con una potencia 380 Wp, 24 V.

2.3.5.7 Cálculo del número de paneles

Para determinar la cantidad de paneles fotovoltaicos, se calculará la energía máxima generada por el panel fotovoltaico seleccionado, que es de 380Wp.

$$E_{panel} = P_{panel} \times HSP \times R$$

Donde; E_{panel} energía generada por el panel fotovoltaico (Wh/día), P_{panel} potencia máxima del panel (W), HSP horas sol pico (kWh/m²), R rendimiento del sistema fotovoltaico.

$$E_{panel} = 380 \times 5.06 \times 0.89$$

$$E_{panel} = 1703.9 \frac{Wh}{dia}$$

La cantidad de paneles fotovoltaicos, por cada estructura de alumbrado público será el resultado de la energía requerida de la carga por la energía generada por el panel fotovoltaico.



$$N_{panel} = \frac{E_{req}}{E_{panel}}$$

$$N_{panel} = \frac{1568.00}{1703.9}$$

$$N_{panel} = 0.92 \approx 1 \text{ panel}$$

Observando el resultado, se requiere solo un panel de 380 Wp para suministrar de energía a las luminarias.

2.3.5.8 Cálculo para determinar la corriente del controlador de carga

Para calcular y seleccionar correctamente este componente fotovoltaico, se debe conocer la corriente de cortocircuito del panel fotovoltaico seleccionado de 380Wp, dicha corriente se viene dando entre el panel y la carga o batería. (Bejarano, 2011).

La configuración de sistema de iluminación del alumbrado público es de 2 luminarias por estructura y un panel solar, en la cual se utilizara un controlador TIPO MPPT. Para dimensionar el controlador tomara en consideración la corriente de cortocircuito del panel fotovoltaico.

Corriente máxima al ingreso del controlador.

$$I_{maxEnt} = I_{sc} \times FS$$

Donde:

Isc Corriente máxima en corto circuito del panel fotovoltaico, 9.8A (Ver Anexo 2.2).

FS. Factor de servicio (se considera un 25% superior a la corriente en corto circuito del panel fotovoltaico), 1,25.

$$I_{maxEnt} = 9.8 \times 1.25 = 12.25A$$



En consecuencia se debe instalar un controlador de 24V con una corriente superior a 12.25A. Del Catálogo de Victron Energy, seleccionamos el controlador, SmartSolar modelo: MPPT 100/20 V. con un amperaje máximo de 20A. Anexo 2.4.

2.3.5.9 Cálculo para selección de conductores

El cálculo, será en base exclusivamente de las normas del Código nacional de electricidad.

Todos los tramos se componen por dos conductores activos (positivo y negativo) en cable de cobre duro con aislamiento y cubierta en PVC a 70°C con caídas de voltaje no superiores al 1,5% y calibres de alambre con sección normalizada según lo estipula el código nacional de electricidad del Perú (CNE, 2011).

Los conductores serán seleccionados según la máxima caída de tensión, que se calcula para un porcentaje de la tensión nominal, el cual se determina por la siguiente ecuación.

$$S = \frac{2 \times L \times I}{\delta \times \Delta V}$$

Dónde: S selección del conductor [mm²], L longitud total del conductor (m), I intensidad de corriente (A), ΔV caída de tensión (V), δ conductividad del cobre para una temperatura de 20°C es 58m/Ωmm², con correcciones por temperatura a 56m/Ωmm².

Tenemos tramos para dimensionar los conductores según su longitud y la corriente que transporta, así podemos dividirlos indicando su máxima longitud considerada.

Tramo Panel fotovoltaico – Controlador	3m
Tramo Controlador – Batería	1m



Tramo Controlador – Carga (luminaria) 3m

- **Calculo de la sección del conductor Tramo Panel fotovoltaico – Controlador**

El panel fotovoltaico tiene un voltaje máximo de 39.7V (Anexo 2.2). Por lo tanto tendríamos una caída de voltaje:

$$\Delta V = 0.015 \times 39.7 = 0.59V$$

Reemplazando tenemos la sección del conductor.

$$S = \frac{2 \times 3 \times 9.5}{56 \times 0.59}$$

$$S = 1.72mm^2$$

- **Calculo de la sección del conductor Tramo Controlador – Batería**

En este tramo el voltaje es de 24V, de donde tenemos la caída de voltaje:

$$\Delta V = 0.015 \times 24 = 0.36V$$

Reemplazando tenemos la sección del conductor, donde para este caso tenemos la corriente 9.5 A para la máxima potencia del panel (Anexo 2.2).

$$S = \frac{2 \times 1 \times 9.5}{56 \times 0.36}$$

$$S = 0.94mm^2$$

- **Calculo de la sección del conductor Tramo Controlador – Carga**

En este tramo el voltaje es de 24V, de donde tenemos la caída de voltaje:

$$\Delta V = 0.015 \times 24 = 0.36V$$

Reemplazando tenemos la sección del conductor, donde la corriente que se suministra la carga es $I = P/V = 65/24 = 2.7A$

$$S = \frac{2 \times 3 \times 2.7}{56 \times 0.36}$$
$$S = 0.8mm^2$$

Al determinar los diámetros del conductor por tramo, se selecciona el conductor de acuerdo a la tabla de calibres normalizados. Estas características se presentan en la Tabla 24.

Tabla 24: Características de los conductores a utilizar

Tramo del Conductor	ΔV (V)	L (m)	Idiseño (A)	S (mm²)	Calibre (mm²)
Panel fotovoltaico - Controlador	0.59	3	9.5	1.7	4
Controlador - Batería	0.36	1	9.5	0.94	4
Controlador – Carga (luminaria)	0.36	3	2.7	0.8	2.5

Elaboración Propia

2.3.5.10 Sistema de protección

Una vez determinado los valores nominales del sistema fotovoltaico y de cualquier sistema eléctrico en general pueden generar sobrecorrientes que pueden reducir la vida de los componentes o este podría fallar, los componentes se calculan según la corriente que circula por el cableado (Valdiviezo, 2014). Para proteger de sobrecorrientes se utilizara fusibles e interruptores termomagnéticos.

- **Fusibles.**

Al tratarse que circula por el sistema corriente continua, se conecta al conductor positivo (+), donde su misión es de proteger el cableado, el panel, el controlador, la batería, y la carga (luminaria) (Alvarado, 2015).

Entre el panel fotovoltaico y el controlador de carga, el valor de corriente de cortocircuito generado (panel fotovoltaico seleccionado), determinará la corriente de operación del fusible.

$$I_{fusible1} = 2 \times I_{scpanel}$$

$$I_{fusible1} = 2 \times 9.82$$

$$I_{fusible1} = 19.64A$$

Donde; $I_{fusible1}$ es corriente del fusible, $I_{scpanel}$ es corriente de cortocircuito del panel fotovoltaico.

Entre el controlador de carga y la batería, se toma el valor de la corriente del controlador que está dado por la corriente del panel fotovoltaico.

$$I_{fusible2} = 2 \times 1.1 \times I_{panel}$$

$$I_{fusible2} = 2 \times 1.1 \times 9.5$$

$$I_{fusible2} = 20.9A$$

Donde; $I_{fusible2}$ corriente del fusible del controlador-batería, I_{panel} corriente del panel fotovoltaico (se suma un 10% de la corriente del panel).

Controlador - carga (luminaria), se toma el valor de la corriente que alimenta a la luminaria de 65W, y que la corriente máxima es 2.7A.

$$I_{fusible3} = \frac{P_{lum}}{V_s}$$

$$I_{fusible3} = \frac{65}{24} = 2.7A$$

Donde; $I_{fusible3}$ corriente del fusible del controlador-carga, $P_{luminaria}$ potencia de la luminaria, V_s es voltaje del sistema.

- Interruptores termomagnéticos:

Al igual que los fusibles, los interruptores termomagnéticos su misión será proteger todo el sistema y su dimensionamiento, se conectan al conductor positivo (+) (Alvarado, 2015).



Para elegir el tipo de interruptores termomagnéticos, se tiene como dato las corrientes que circulan por la sección del cable en cada uno de los tramos del sistema.

Estas secciones se obtuvieron anteriormente en el cálculo del conductor; por lo tanto, en los tramos panel - controlador y controlador - batería se instalarán los termomagnéticos, el calibre del conductor es de 4mm² y 4mm² respectivamente. Para dichas características se utilizarán termomagnéticos de 16 A. (Anexo 2.5).

- **Interruptor automático diferencial**

De conformidad con la Regla 150-400 del Código Nacional de electricidad (CNE, 2011), el amperaje requerido para la protección de personas en una instalación eléctrica debe ser de 30mA, se seleccionó un interruptor diferencial bipolar de 10 – 30mA, con corriente nominal de 20A.

2.3.5.11 Sistema de puestas a tierra

El diseño del sistema fotovoltaico propuesto, es un sistema de corriente continua con un voltaje de 24 V, el cual no utiliza inversor para generar corriente alterna. Según el C.N.E. utilización 2011, en la regla 060-102 (1) indica: Los sistemas de corriente continua de dos conductores que alimentan alambrados interiores y operan a tensiones entre conductores no menores de 50 V, ni mayores de 300 V, deben ponerse a tierra mediante uno de sus conductores; a menos que dichos sistemas alimenten equipos industriales en áreas de acceso limitado y el equipo este equipado con detector de tierra (CNE, 2011).

Regla 060-510 (1) CNE (2011), Los equipos de instalación fija como los especificados en las Reglas 060-400 y 060-402, en cumplimiento de lo indicado en la Regla 060-804, deben ser enlazados a tierra de una de las siguientes maneras: (a) Una



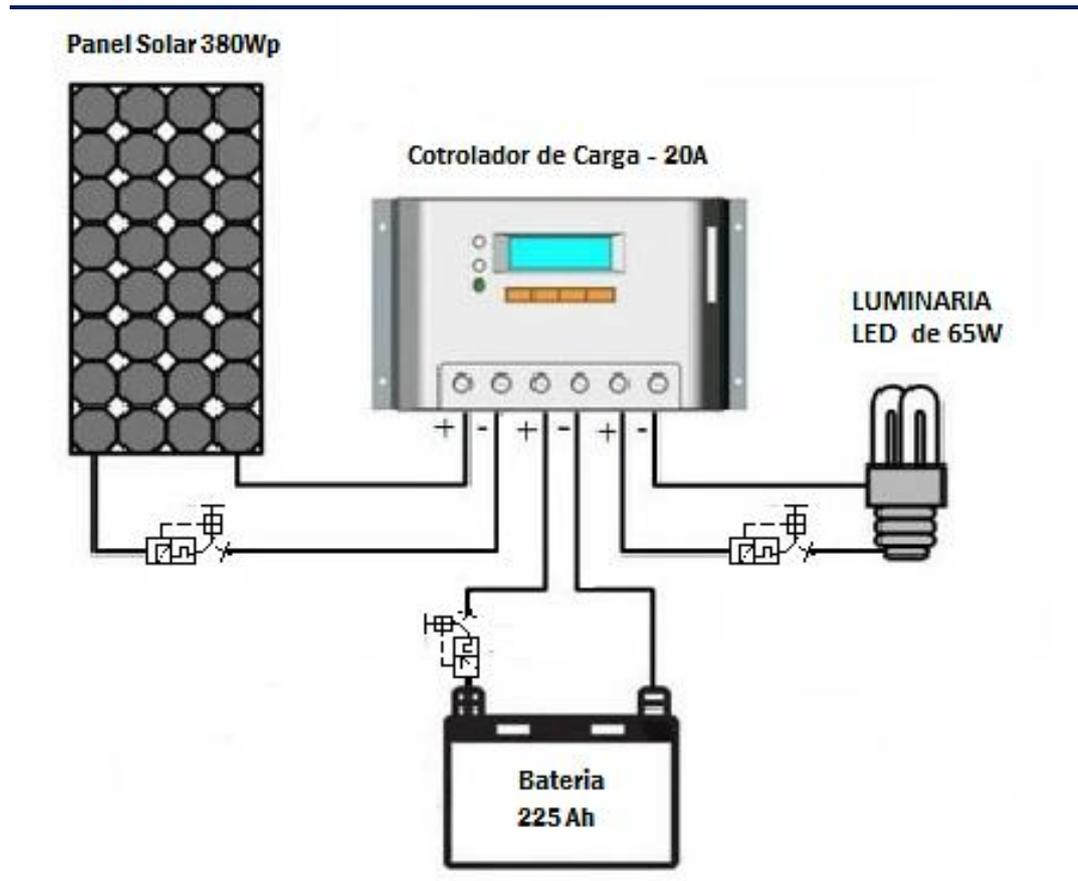
conexión efectiva metálica a canalizaciones metálicas o blindaje de cables puestos a tierra. (CNE, 2011).

Por lo anterior indicado, para el sistema de iluminación que trabaja a 24 V, no sería obligatorio instalar puestas a tierra en los puntos de iluminación, adicionalmente el presente sistema de iluminación utiliza como estructura poste metálico, el cual ayudará a poner conexión efectiva a tierra.

2.3.5.12 Esquema del sistema de iluminación fotovoltaico.

Luego de determinar el dimensionamiento del sistema de iluminación fotovoltaica con tecnología LED, presentamos en la siguiente figura el esquema eléctrico utilizado en el diseño.

Figura 50: Esquema de iluminación fotovoltaica



Elaboración Propia

2.4 GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS

Altura de montaje: Distancia vertical entre la lámpara y el suelo.

Altura del poste: Longitud total medida verticalmente al poste izado incluye su base.

Alumbrado público: iluminación de espacios o lugares públicos, con tránsito peatonal y vehicular.

CC Corriente Continua: flujo de corriente eléctrica que fluye de forma constante en una dirección por una diferencia de potencial.



Controlador de carga: Es un dispositivo que regula la carga de la batería e interrumpe la conexión con los paneles en caso de que éste esté completamente cargado y desconecta el acumulador en caso de sobre descargas.

Curva Isolux: Son curvas que representan iguales niveles de iluminación sobre un plano de trabajo.

Deslumbramiento: Condición de visión en la cual existe incomodidad o disminución en la capacidad para distinguir objetos, debido a la inadecuada distribución de luminancia. (Alonso, 2012).

Efecto Fotovoltaico: Es un fenómeno físico de ciertos dispositivos fabricados con semiconductores, uniones del tipo P-N, son capaces de absorber la luz del Sol y convertirla en electricidad del tipo corriente directa (CD) sin ningún proceso intermedio.

Eficiencia de luminaria: Es el flujo luminoso emitido por una lámpara a cambio de la potencia eléctrica (Watts) que requiere para operar, se expresa como lumen/W.

Energía solar fotovoltaica: Se refiere al aprovechamiento de la energía solar para generar energía eléctrica.

Flujo luminoso: Es la magnitud de la potencia o caudal de energía en forma de radiación luminosa y se define como: Potencia emitida en forma de radiación luminosa a la que el ojo humano es sensible, se mide en Lumen (Lm).

Illuminancia ($E=d\Phi/dA$): Es la relación del flujo luminoso incidente en una superficie por unidad de área, la unidad de medida es el lux (lx).

Intensidad luminosa: es la relación que existe entre el flujo luminoso contenido en un ángulo sólido cualquiera, cuyo eje coincida con la dirección considerada y el valor de



dicho ángulo sólido expresado en estereorradianes. Su unidad es la candela. (Alonso, 2012).

Isc: Corriente de corto circuito.

LED: Por sus siglas en Inglés Light-Emitting Diode, en español Diodo emisor de luz, es un semiconductor capaz de emitir radiación electromagnética en forma de luz.

LUMEN: Unidad estándar del flujo luminoso de una fuente de luz.

Luminancia (L): Se define como la intensidad luminosa de un elemento de esa superficie, dividida por el área de la proyección ortogonal de este elemento sobre un plano perpendicular a la dirección considerada. La unidad de medida es la candela por metro cuadrado (cd/m^2). (Alonso, 2012).

LUX: Es la intensidad luminosa uniformemente en un ángulo sólido de un estereorradián, su flujo luminoso total emitido en ese ángulo calculado por metro cuadrado es un LUMEN. $\text{Lux} = \text{lumen}/\text{m}^2$.

MPPT: Maximum Power Point Tracking, son reguladores de carga que permiten sacar la máxima potencia de los paneles fotovoltaicos, haciéndolos trabajar siempre en su punto de máxima potencia.

Panel Fotovoltaico: Es un conjunto de células solares conectadas en serie o paralelo que generan energía eléctrica, de tal forma que la tensión y corriente del panel sea ajustado al requerimiento deseado.

Profundidad de Descarga (DOD): La profundidad de descarga (DOD, Depth of Discharge) de una batería se define como el porcentaje de la capacidad que ha sido



extraída de la batería comparada con la capacidad a plena carga, por definición el estado de carga (SOC) y la profundidad de descarga (DOD) suman el 100%. (Alonso, 2012).

Temperatura de Color: Es una medida del color de la luz emitida por un cuerpo a una temperatura en particular, es expresada en grados Kelvin ($^{\circ}\text{K}$).

2.5 HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

2.5.1 Hipótesis General

Con la Evaluación y Propuesta de Alumbrado Público con iluminación LED y Paneles Fotovoltaicos en la Av. Circunvalación II de la ciudad de Juliaca, se logrará beneficiar a la población, mejorando la iluminación, ahorro en el consumo de energía eléctrica, disminuir los costos por consumo de energía y obtener un beneficio medioambiental.

2.5.2 Hipótesis Específicas

- Considerando los parámetros de diseño se determinan las características del sistema de iluminación LED con paneles fotovoltaicos para el alumbrado público, que nos permite evaluar y demostrar la eficiencia energética.
- Con la realización del análisis económico de la iluminación LED con paneles fotovoltaicos respecto a la iluminación convencional se demuestran los beneficios económicos generados.



- El impacto ambiental al utilizar la iluminación LED con paneles fotovoltaicos en el Alumbrado Público de la Av. Circunvalación II, es positivo, disminuyendo en las emisiones de CO₂.

2.6 VARIABLES E INDICADORES.

Una variable es una propiedad que puede fluctuar y cuya variación es susceptible de medirse u observarse; adquiriendo valor para la investigación cuando llegan a relacionarse con otras variables (Hernández, et al., 2014).

Para el caso de las investigaciones correlacionales y causales, como este proyecto, antes de establecer causalidad debe haberse demostrado correlación, asimismo, los cambios en la causa tienen que provocar cambios en el efecto, relacionando estos conceptos con la hipótesis, a las supuestas causas se les conoce como variables independientes y a los efectos como variables dependientes (Hernández, et al., 2014).

En el presente proyecto de investigación tenemos las siguientes Variables:

Independientes

- Energía eléctrica fotovoltaica
- Alumbrado Público con iluminación LED

Dependientes

- Eficiencia energética
- Beneficios económicos
- Emisiones de CO₂



Los indicadores nos ayudan a medir cada una de las variables; dicho de otro modo se podría decir que un indicador es algo que nos da algún indicio o podría ser uno o varios valores estadísticos que en su conjunto constituyen un indicio (IEA, 2016).

Este proyecto tiene los siguientes indicadores por cada variable.

- Energía eléctrica fotovoltaica: cuantificación de la radiación solar promedio; capacidad de los paneles fotovoltaicos, consumo eléctrico.
- Alumbrado Público con iluminación LED: demanda de energía para el alumbrado público.
- Eficiencia energética: Se utilizará la metodología e indicadores comparativos con sistema convencional de iluminación de alumbrado público. además de una comparación energética, para luminarias.
- Beneficios económicos: determinando la rentabilidad, tiempo de retorno de la inversión e indicadores del VAN y el TIR.
- Emisiones de CO₂: Concentración de CO₂ por generación de energía eléctrica.

2.6.1 Definición Conceptual

Se tratan de definiciones de diccionarios o de libros especializados; Estas definiciones son necesarias, pero no se vinculan directamente con la realidad, por ello, los científicos deben definir las variables que se utilizan en sus hipótesis, en forma tal que puedan ser comprobadas y contextualizadas (Hernández, et al., 2014).

- Energía eléctrica fotovoltaica: Es la Energía eléctrica producida por los paneles fotovoltaicos, a partir de la irradiación solar.
- Alumbrado Público con iluminación LED: Es la iluminación de espacios o lugares públicos con luminarias LED de alta eficiencia.



- Eficiencia energética: La eficiencia energética significa consumir menos energía manteniendo un nivel equivalente de actividades o prestaciones económicas; Es la relación entre la cantidad producida de un servicio o utilidad y la cantidad de energía consumida para proporcionarla (Ttacca y Mostajo, 2017).
- Beneficios económicos: referida a las utilidades que genera una inversión.
- Emisiones de CO₂: El aporte de cada gas de efecto invernadero durante un período específico de tiempo se halla por el cambio en su concentración atmosférica durante ese período de tiempo.; donde los gases de alta duración son el CO₂, el CH₄ y el N₂O, son químicamente estables y persisten en la atmósfera durante décadas hasta siglos o más, de modo que sus emisiones ejercen su influencia en el clima a largo plazo (IPCC, 2007).

2.6.2 Definición operacional.

Según Hernández et al. (2014), una definición operacional nos dice que para recoger datos respecto de una variable, hay que hacer ciertas cosas, además articula los procesos o acciones de un concepto que son necesarios para identificar ejemplos de éste (MacGregor, 2006 citado por Hernández et al., 2014).

- Energía eléctrica fotovoltaica: kW/h producidos en una hora durante un día, que permitirán conocer la generación de energía eléctrica.
- Alumbrado Público con iluminación LED: potencia consumida por la luminaria LED.
- Eficiencia energética: Indicadores de eficiencia energética o comparación de consumo de energía en los sistemas de alumbrado público, los que permitirán conocer el consumo de energía y ahorro energético.



- Beneficios económicos: Rentabilidad, tiempo de retorno de la inversión, evaluación del VAN y TIR del proyecto.
- Emisiones de CO₂: La cantidad de CO₂ evitados por cada kW-h de energía eléctrica producido, directa e indirectamente a la atmósfera.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 Tipo de investigación

Por la naturaleza del proyecto de tesis, la investigación es de tipo descriptivo y aplicada, debido a que el objetivo es Evaluar y Proponer el Alumbrado Público con Iluminación LED y Paneles Fotovoltaicos en la Av. Circunvalación II de la ciudad de Juliaca que brinde beneficios a la población, desde un punto de vista que lleve a la mejora, sin la necesidad de crearlas, por lo cual, solo será necesario una recopilación de datos documentales, realizando las consultas en fuentes de información tales como entidades, Normas, Páginas web, tesis, catálogos, libros, proyectos y demás manejos de informaciones referentes al tema.

Los estudios descriptivos se caracterizan por describir la realidad objeto de estudio, un aspecto de ella, sus partes, sus clases, sus categorías o las relaciones que se pueden establecer entre varios objetos, con el fin de esclarecer una verdad, corroborar un enunciado o comprobar una hipótesis; mientras que el estudio de tipo Aplicada consiste en mejorar la realidad objeto de estudio en lo práctico como la innovación tecnológica, en vez de generar conocimientos (Niño, 2011).

3.1.2 Enfoque de la investigación

El enfoque utilizado es cuantitativo por tener control sobre los fenómenos analizados realizando la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías.



3.1.3 Diseño de investigación

El proyecto de investigación considerado es de diseño no experimental transversal correlacional, donde la investigación que se realiza es sin manipular deliberadamente variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos, recopilando los datos en un momento único, describiendo relaciones entre dos o más conceptos o variables en un momento determinado (Hernández, 2014). Iniciando con el análisis documental de los datos, visita a campo para la caracterización de la zona del proyecto, que permita desarrollar las especificaciones, características del proyecto, con lo cual se realiza la evaluación y propuesta del sistema de iluminación LED con paneles fotovoltaicos para el alumbrado público. Obteniendo resultados sobre los beneficios y ventajas de la propuesta referente al sistema convencional de iluminación.

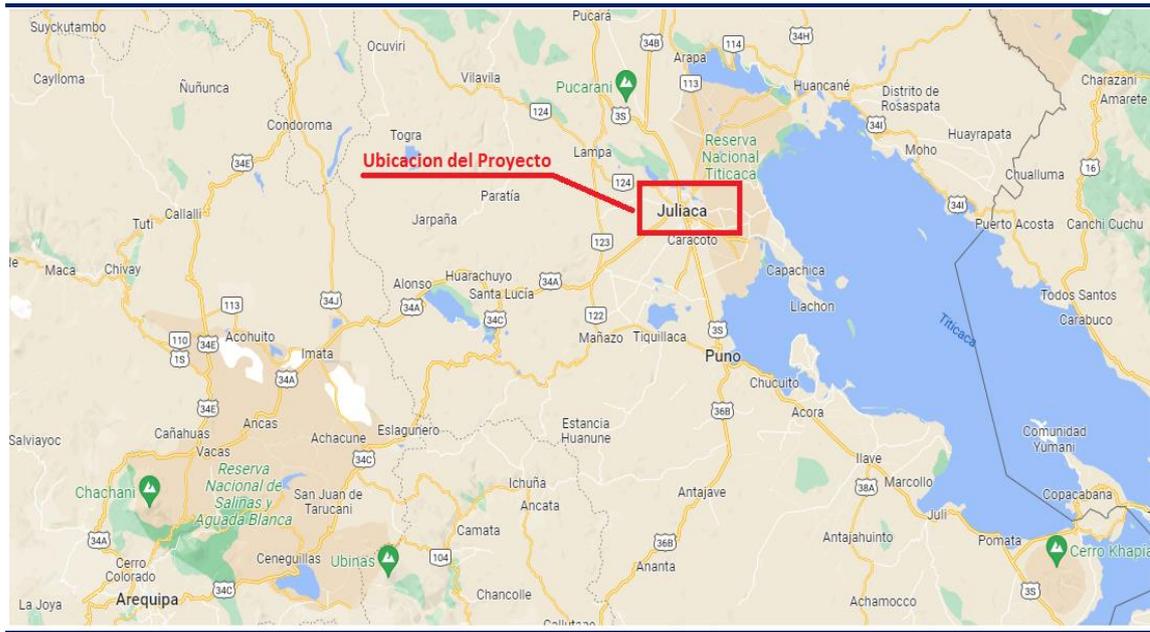
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

Para este proyecto de investigación, se considera como población a investigar, el sistema de iluminación del alumbrado Público de la Av. Circunvalación II.

3.3 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN

La ubicación es en la Av. Circunvalación II de la ciudad de Juliaca, provincia de San Román y departamento de Puno.

Figura 51: Ubicación geográfica del distrito de Juliaca



FUENTE: Adaptado de Google Maps, (2022).

a) Ubicación Geográfica

Departamento : Puno

Provincia : San Román

Distrito : Juliaca

Altitud : 3825 m.s.n.m.

Coordenadas :

Latitud: -15.4933

Longitud: -70.1356

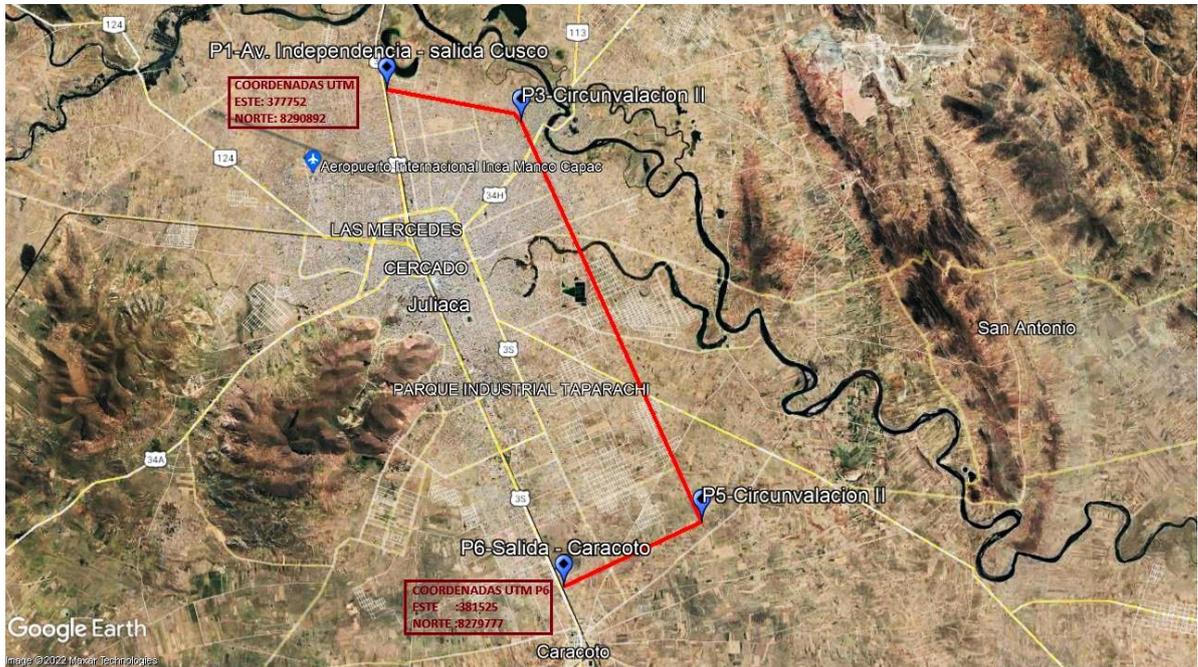
Latitud: 15° 29' 36" Sur

Longitud: 70° 07' 37" Oeste

UTM: 378823.52 m E

8286095.72 m S

Figura 52: Ubicación geográfica de los puntos P1 - P6, principio y final respectivamente de la Av. Circunvalación II, para el alumbrado público con fuente fotovoltaica



Fuente: Adaptado de, Google Eart Pro, (2022).

b) Características Geográficas

En Juliaca, el mes con temperatura más alta es noviembre (18.8°C); la temperatura más baja se da en el mes de julio (-7.8°C); y llueve con mayor intensidad en el mes de enero (118.00 mm/mes) (SENAMHI, 2021).

Tabla 25: Características de clima región Puno

Descripción	Estación de Año	
	Mayo - Octubre	Noviembre - Abril
Clima	Frígido y seco	Frígido y lluvioso
Temperatura mínima °C	-7.8 °C	0 °C
Temperatura máxima °C	17.4 °C	18.8 °C
Temperatura Media °C	14 °C	14 °C
Humedad relativa	50	90
Velocidad del viento km/h	90	90

FUENTE: Adaptado de SENAMHI, (2022).



c) **Características de la Avenida Circunvalación II**

La avenida circunvalación II, tiene una longitud total de 16.3 km que inicia en la salida a Cusco al norte de Juliaca hasta la salida a Caracoto al sur de Juliaca, cuya ruta es por el este. La avenida tiene un perfil o ancho de vía entre 40 a 50 metros, y que hasta la fecha todavía no está pavimentada en su totalidad, dando mayor viabilidad de materializar la propuesta de iluminación.

3.4 **TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

En el presente trabajo de investigación, denominado iluminación LED con sistema solar fotovoltaico, la técnica utilizada es la de observación (no participante, no estructurada) y de estudio documental, teniendo en consideración los conocimientos teóricos de las energías renovables y avances tecnológicos en iluminación LED, en contraste con el sistema de iluminación convencional.

- d) **El análisis documental**, una vez definida el problema el interés y los objetivos del estudio de tesis, se realizan la busque y recopilación de informaciones historiales o antecedentes, con el fin de lograr lo pretendido. La revisión documentaria a realizar son libros, o parte del libro, Normas referentes, un artículo, boletines, la revisión de bibliografías referidos al tema, documentos de la especialidad, fichas técnicas, tesis.
- e) **La observación de campo**, verificación de las características de lugar para levantamiento de planos que son indispensables para realizar los cálculos que determinen las especificaciones y prestaciones del alumbrado público, en este caso nuestro soporte técnico será la guía de observación.

- f) **La simulación**, se realizará una simulación en los softwares (Ulysse3, Excel) de la iluminación para el alumbrado público que conlleve a determinar los beneficios en el uso de energía, económica y ambiental. De los sistemas de iluminación propuesta y el sistema convencional.

3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

En la operacionalización de las variables es necesario traducirlas o desagregarlas en fundamentada en la definición conceptual y operacional, lo que servirá para identificar y construir las preguntas, a la hora de la aplicación de instrumentos.

Tabla 26: Operacionalización de Variables

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADOR	
INDEPENDIENTE	Energía eléctrica fotovoltaica	Es la generación de energía eléctrica con paneles fotovoltaicos producidos a partir de la irradiación solar. Para usos distintos, así como la iluminación en alumbrado publico	Energía eléctrica producida por un panel solar en un tiempo de una hora, durante un día. Según su capacidad, características, cantidad de irradiación y la orientación de su instalación.	kWh
	Alumbrado Público con iluminación LED	Es la iluminación de espacios o lugares públicos, con tránsito peatonal y vehicular.	Potencia de luminaria LED para el alumbrado publico	W
DEPENDIENTE	Eficiencia energética	Es el uso de energía con mínimas perdidas y la utilización de energías renovables	Análisis comparativo de consumo energético en el alumbrado público, con iluminación LED alimentadas con paneles fotovoltaicos respecto al uso de iluminación convencional VSAP alimentada con corriente alterna	%
	Beneficios económicos	Ganancia o Utilidad que se obtiene de una inversión	Tiempo de recupero de la inversión inicial, determinación de Valor Actual Neto y la Tasa Interna de Retorno del proyecto	Años, VAN, TIR
	Emisiones de CO2	Dióxido de Carbono emitido hacia la atmósfera	Cantidad de CO2 producidos por cada kW-h de energía eléctrica generados	Mitigación CO2 (Ton)

Fuente: Elaboración Propia



3.6 TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

3.6.1 Análisis de datos y desarrollo de actividades

- Con la técnica basada en la observación, se realiza visitas a la avenida circunvalación II para determinar sus características geométricas, disposiciones topográficas y urbanísticas.
- Se consultaran las principales normas y libros referidas al alumbrado público, permitiendo seleccionar las luminarias adecuadas, además se realiza el estudio luminotécnico con el software Ulysse 3 de la iluminación de la av. Circunvalación II, con las luminarias LED utilizando los datos recolectados inicialmente. De esta manera evaluar y definir las luminarias a instalar.
- Se realizará un análisis del tipo de alumbrado público, con la iluminación convencional que considera uso de luminarias VSAP con alimentación de corriente alterna, en comparación con la iluminación LED con paneles fotovoltaicos propuesto. Para determinar el sistema con los mejores beneficios y determinar las características de esta.
- Se define las características climatológicas de la zona del proyecto, como la irradiación, y teniendo la demanda o consumo de energía eléctrica por las luminarias seleccionadas, se determina la potencia o capacidad de panel fotovoltaico, de esa manera determinar la autonomía de la fuente energética fotovoltaica, la energía máxima a generar y la selección de todos los subsistemas (Panel fotovoltaico, controlador, batería, interruptor termomagnético, interruptor diferencial, fusibles y conductores eléctricos).
- Se determinará la estructura a utilizar para el alumbrado público, conociendo su altura, material, dimensión de cimentación y distancia entre poste y poste.



- Se realizará la evaluación económica, determinando los costos de inversión, beneficio económico, ahorro energético y retorno operacional de la inversión inicial.
- Finalmente, se realizará una evaluación medioambiental que consiste en determinar la cantidad de emisiones de CO2 evitadas al implementar el proyecto.

3.6.2 Matriz de consistencia desarrollo del proyecto

La Matriz de Consistencia muestra los procedimientos o secuencia que se sigue para el desarrollo del proyecto de tesis de tipo descriptivo aplicada, donde se presenta de forma resumida los aspectos más importantes de la tesis. Posee cuatro columnas que suministran la siguiente información:

- Un resumen narrativo de los objetivos y las actividades.
- Indicadores (Resultados específicos a alcanzar).
- Medios de Verificación.
- Supuestos (factores externos que implican riesgos).

Los cuales están presentados en los diferentes momentos de la vida del proyecto:

Fin: contribución del proyecto.

Componentes y Propósito: resultados logrados durante y al finalizar el proyecto.

Actividades requeridas: recolección de datos y procesamiento para llegar a los resultados.

A la matriz de consistencia también, se adicionó una columna en la cual se detalla la metodología de investigación aplicada.

EVALUACION Y PROPUESTA DE ALUMBRADO PUBLICO CON ILUMINACION LED Y PANELES FOTOVOLTAICOS PARA LA AV. CIRCUNVALACION II DE LA CIUDAD DE JULIACA					
	RESUMEN DE OBJETIVOS	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	SUPUESTOS	METODOLOGÍA APLICADA
FIN	Evaluar y Proponer el Alumbrado Público con Iluminación LED y Paneles Fotovoltaicos en la Av. Circunvalación II de la ciudad de Juliaca que brinde beneficios a la población	Beneficios de iluminación LED con paneles fotovoltaicos en: la eficiencia energética, económica y ambiental	Experiencias de uso en alumbrado público con sistemas de iluminación LED con paneles fotovoltaicos Aprovechamiento de energía solar para generar energía eléctrica para uso independiente y autónomo, con beneficios de ahorro energéticos y económicos, respecto a la energía eléctrica alterna convencional.	La utilización de esta tecnología, en el marco legal seguirá siendo apoyada y respaldada. En consecuencia genera beneficios, energéticos y económicos para la población	ENFOQUE CUANTITATIVO Debido a que se requiere la recopilación de datos existentes sin necesidad de crearlos, y buscan probar hipótesis en base a medición numérica a partir de cálculos realizados.
COMPONENTES Y/O PROPOSITO	Analizar el impacto benéfico al medio ambiente planteados en este tipo de sistema de Alumbrado público. Realizar una evaluación económica al utilizar la iluminación LED con Paneles fotovoltaicos respecto a la iluminación convencional	Emisiones de CO2 (Toneladas) por el uso de energía eléctrica convencional Beneficio/costo Ahorro económico por pagos Tiempo de Recupero de la inversión determinación del VAN Determinación del TIR	Cuantificación de emisiones de CO2 por cada kWh de energía utilizada en el alumbrado publico Indicadores de beneficios económicos por el uso de iluminación LED con paneles fotovoltaicos en comparación a la iluminación convencional	El uso de energías renovables para generar energía eléctrica que alimente el sistema de alumbrado público sin duda es beneficio para en medio ambiente, en comparación con sistemas convencionales Existe los recursos materiales y financiamiento, así como la innovación tecnología al alcance, que permita seleccionar el sistema de iluminación que conlleven beneficios económicos del estudio de tesis	TIPO Y NIVEL DESCRIPTIVO APLICADA Se busca el porqué de la causa a partir de la problemática que se encuentra en el lugar de estudio. Para su mejora, Enmarcando la innovación tecnológica. DISEÑO NO EXPERIMENTAL Ya que se observan los fenómenos o acontecimientos sin manipulación deliberada de sus variables, para después analizarlos
ACCIONES Y/O ACTIVIDADES	Determinar los parámetros de iluminación para el alumbrado público y demostrar la eficiencia energética por el uso de luminarias LED alimentado con paneles fotovoltaicos.	Caracterización de iluminación LED con paneles fotovoltaicos, y análisis comparativo de uso energético respecto a la iluminación convencional	Verificación de las características del sistema de iluminación LED con paneles fotovoltaicos e indicadores de eficiencia energética	Se encuentra con la información disponible, evitando así cualquier retraso, que permita determinar los beneficios energéticos del sistema de iluminación LED con paneles fotovoltaicos, respecto a la iluminación convencional	

Elaboración Propia

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANÁLISIS TÉCNICO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN CON PANELES FOTOVOLTAICOS PARA ALUMBRADO PÚBLICO

4.1.1 Análisis luminotécnico de alumbrado público

Se realiza una comparación de los valores obtenidos al realizar la simulación en Ulysse 3, como: la luminancia media, la iluminancia media, uniformidad, índice de deslumbramiento y algunos valores significativos, para el alumbrado público de la Av. Circunvalación II, con las luminarias LED de 50W y 65W respecto a las luminarias VSAP de 120W y 150W respectivamente. El análisis se realiza para el tipo de Vía colectora 1, tipo de alumbrado II, y en cumplimiento de la Norma Técnica DGE “Alumbrado de Vías Públicas en Zonas de Concesión de Distribución”, adicionalmente con las recomendaciones de RETILAP.

Tabla 27: Resultados luminotécnicos al realizar la Simulación

Análisis comparativo de Iluminación en tipo de alumbrado II			
Características de iluminación	Según Norma	Iluminación LED 50W	Iluminación VSAP 120W
Iluminancia media (lux)	20 - 40	24.7	21.9
Luminancia media (cd/m ²)	1 - 2	1.9	1.2
Uniformidad media	≥ 0.4	0.5	0.44
Uniformidad longitudinal	≥ 0.65	0.92	0.7
Deslumbramiento (%)	< 10	7.2	9.1
Eficacia luminosa (lm/W)	-	150	100

Elaboración Propia

Al observar la Tabla 27, se evidencia las ventajas que tiene la luminaria LED frente al VSAP, cumpliendo con las exigencias de la Normativa y brindando una mejor iluminación. Adicionalmente cabe mencionar que la vida útil de las luminarias LED están entre 50000 a 100000 horas sin embargo las de VSAP están entre 28000 a 35000 horas. Es la razón por la que en este proyecto se elige este tipo de luminaria, por poseer alta eficacia lumínica y al poder funcionar con corriente continua que proporciona un panel fotovoltaico. Los detalles de la simulación se presentan en Anexo 4.

4.1.2 Análisis energético de alumbrado público

Se realiza una comparación de uso de energía eléctrica en el alumbrado público de la Av. Circunvalación II, con el sistema de iluminación LED alimentada con paneles fotovoltaicos respecto al sistema convencional de iluminación pública. Con dichos resultados se determina la eficiencia energética del sistema propuesto.

4.1.2.1 Energía total sistema solar fotovoltaico

Calculamos la energía total consumida por un número determinado de luminarias, que abarca a toda la extensión de la Av. Circunvalación II.

- Luminaria LED 1: Potencia 65W, cantidad 1400.
- Luminaria LED 2: Potencia 50W, cantidad 1164.

Carga instalada

$$Q = \frac{N_l \times P_l}{1000}$$

$$Q_1 = \frac{1400 \times 65}{1000} = 91kW$$

$$Q_2 = \frac{1164 \times 50}{1000} = 58.2kW$$

$$Q_T = Q_1 + Q_2$$

$$Q_T = 91 + 58.2$$

$$Q_T = 149.2kW$$

Donde; Q Carga instalada (kW), Nl número de luminarias, Pl potencia de luminaria.

Consumo total de energía

$$C_t = \frac{Q_T \times N_{horas}}{\eta_{em}}$$

$$C_t = \frac{149.2 \times 12}{0.946}$$

$$C_t = 1902.1kWh/dia$$

$$C_t = 57063.33kWh/Mes$$

Donde; Ct consumo total de energía (kWh), Qt Carga instalada (kW), Nhoras cantidad de horas por día, η_{em} Factor de Mantenimiento y eficiencia del sistema SFV (0.946).

Se obtuvo el consumo total de energía al mes de 57063.33 kWh /mes, por las 2564 luminarias LED a instalar en la avenida circunvalación II.

4.1.2.2 Energía total sistema convencional

Calculamos la energía total consumida por un número determinado de luminarias que brindan una iluminación similar al sistema propuesto.

- Luminaria VSAP 1: Potencia 150W, cantidad 1400.
- Luminaria VSAP 2: Potencia 120W, cantidad 1164.

Carga instalada

$$Q_1 = \frac{1400 \times 150}{1000} = 210kW$$

$$Q_2 = \frac{1164 \times 120}{1000} = 139.68kW$$

$$Q_T = 210 + 139.68$$

$$Q_T = 349.68kW$$

Observando los resultados, con la instalación de luminarias convencionales de alta eficiencia con respecto las luminarias LED se tiene una diferencia significativa en la potencia a instalar.

Consumo total de energía

$$C_{tc} = \frac{Q_T \times N_{horas}}{\eta_{em}}$$

$$C_{tc} = \frac{349.68 \times 12}{0.92}$$

$$C_{tc} = 4654.13 kWh/dia$$

$$C_{tc} = 139623.78 kWh/Mes$$

Donde; C_{tc} consumo total de energía convencional (kWh), Q_t Carga instalada (kW), N_{horas} cantidad de horas por día, η_{em} Factor de Mantenimiento y eficiencia del sistema convencional (0.92).

Se obtuvo el consumo total de energía al mes de 139623.78 kWh /mes, por las 2564 luminarias Vapor de Sodio alta presión a instalar con el sistema convencional.

4.1.2.3 Eficiencia energética del sistema propuesto

Realizando el análisis comparativo de iluminación propuesto respecto a la convencional se determina el ahorro energético al utilizar el sistema de iluminación LED con Panel fotovoltaico para el alumbrado público. El cual se convierte en eficiencia energética por el uso de energías renovables.

Tabla 28: Ahorro energético en sistema propuesto

Descripción	Energía (kWh/mes)
Sistema iluminación LED con paneles fotovoltaicos	57,063.33
Sistema de iluminación convencional	139,623.78
Ahorro energético	82,560.45

Elaboración Propia

Observando la Tabla 28 se tiene un ahorro energético de 82560.45kWh/mes, al utilizar el sistema de iluminación LED con paneles fotovoltaicos, dicho ahorro energético es evidencia de la eficiencia energética que corresponde al 59.13% respecto a la iluminación convencional.

4.1.3 Características técnicas del sistema propuesto

Se presenta las características técnicas de cada equipo y materiales que componen el sistema de iluminación con paneles fotovoltaicos para la av. Circunvalación II.

4.1.3.1 Luminarias.

Se eligen 2 tipos de luminarias que es PHIPILIS T25 de 65 W y 50 W, de alta calidad con IP66, carcasa de aluminio y un flujo luminoso de la lámpara 11 000 lm y 8540 lm. Puede aprovechar su muy bajo consumo de energía con una eficiencia mayor a 150 lm/W, ideales para ser alimentadas con energía solar y que ofrece una solución de iluminación sostenible. Viene equipada con un driver diseñado especialmente para esta aplicación, proporcionando una alta eficacia que permite aminorar las dimensiones del módulo solar y la capacidad del acumulador, lo que disminuye el costo total.

4.1.3.2 Paneles solares fotovoltaicos

Se ha seleccionado paneles de la marca AE SOLAR Delta modelo AE M6 – 72 series 360 – 380 W. cada módulo contiene 72 celdas solares conectadas en serie y paralelo (6 x 12), Calidad IP 67. Los parámetros eléctricos se muestran en la Tabla 27.

Tabla 29: Características técnicas del panel Monocristalinos 380 WP/24 VCD

Parámetros	Valores
Potencia máxima	380 W
Voltaje en circuito abierto (Voc)	47.59V
Voltaje de máxima potencia (Vmp)	39.71 V
Corriente de corto circuito (Isc)	9.82 A
Corriente de máxima potencia (Imp)	9.57 A
Dimensiones (A/A/F)	1956 x 992 x 40 mm
Peso	21 kg
Numero de Celdas	72 (6 x 12)
Tipo de celdas	Monocristalino

FUENTE: Adaptado de AE-SOLAR, (2022).

4.1.3.3 Controlador o regulador de carga.

Elegimos un Controlador de carga de la marca Victron Energy, Smart Solar modelo MPPT 100V / 20A, con una salida a 24V, su salida de carga es aprueba de cortocircuito, teniendo una garantía mayor a 5 años, tiene un algoritmo BatteryLife que controlará la protección sobre recalentamiento, protección de sobrecarga, protección sobre descarga.

Tabla 30: Características Técnicas del Controlador de Carga

<i>Parámetros</i>	<i>Valores</i>
Tensión de Operación (Selección automática)	12/24 V
Corriente de carga nominal	20 A
Potencia FV nominal, 24V	580 W
Autoconsumo	24V: 15 mA
Temperatura de trabajo	De -30 a +60 °C (potencia nominal completa hasta los 40°C)
Dimensiones (A/A/F)	1956 x 992 x 40 mm
Peso	0.65 kg
Dimensiones (al x an x p)	100 x 113 x 60 mm

FUENTE; Adaptado de VICTRON ENERGY, (2022).

4.1.3.4 Baterías.

Se elige baterías estacionarias fabricadas en polipropileno altamente resistente a los agentes externos, de la marca Voltem modelos recomendables para sistemas fotovoltaicos o energías renovables, sistemas autónomos, alarmas, sistemas de señalización, Control de tráfico, Vehículos eléctricos, telecomunicaciones y otros.

Consta de un bloque de baterías compuesto por 4 unidades de 6 Voltios, haciendo un total de 225 Ah, brindando mayor durabilidad en ciclo profundo y una larga vida útil. Estas baterías presentan una descarga muy baja, lo cual permite mayor almacenamiento sin necesidad de carga, con una eficiencia de recarga superior.

Tabla 31: Características técnicas de la Batería

<i>Parámetros</i>	<i>Valores</i>
Tensión de la Batería	24 V
Capacidad de la Batería	225 Ah
Posición de trabajo de la Batería	Bornes parte superior
Peso	28 kg
Dimensiones	26.4 × 18.1 × 27.6 cm
Temperatura de trabajo	-20 a 60 °C
Garantía	1 Año
Mantenimiento	Libre de mantenimiento

FUENTE: VOLTEM, (2022).

Similarmente se recomienda Batería de aplicación solar estacionarias marca Trojan 24 Gel a 24V 225Ah.

4.1.3.5 Conductores.

Elegimos conductores con propiedades de resistencia al trabajo en la intemperie y facilidad de instalación, teniendo para esas prestaciones los conductores de Cu TTRF-70 (NLT/NMT), que tienen doble capa de aislamiento, mostrando los calibres de los conductores en la Tabla 32.

Tabla 32: Características Conductores de Cu TTRF-70(NLT/NMT)

Calibre (AWG)	Diam. Conductor (mm)	Espesor Aislamiento (mm)	Espesor Cubierta (mm)	Diam. Sobre cubierta (mm)	Peso Aprox. (kg/km)	Amperaje a 30° (A)
2x18	1.15	0.6	0.8	6.9	67	10
2x16	1.44	0.7	0.8	7.9	92	15
2x14	1.83	0.8	0.9	9.3	133	20
2x12	2.29	0.8	1.1	11	191	25
2x10	2.9	0.8	1.2	12.5	258	30
3x16	1.44	0.7	0.9	8.6	113	10



(Continuación...)

3x14	1.83	0.8	1.1	10.3	168	15
3x12	2.29	0.8	1.1	11.7	229	20
3x10	2.9	0.8	1.2	12.9	277	25

FUENTE: INDECO, (2022).

Los cables del tipo TTRF-70 (NLT/NMT) seleccionados son dos conductores de cobre electrolítico recocido, flexible, cableado en haz, aislados con PVC, trenzados, relleno de PVC y cubierta exterior común de PVC y a la vez tienen como características gran flexibilidad, terminación compacta; resistente a la abrasión, humedad, al aceite y retardante a la llama (INDECO, 2022).

4.1.3.6 Altura de instalación de las luminarias.

Para determinar la altura de instalación de las luminarias LED, se realiza según los datos como el flujo luminoso de la luminaria seleccionada, para este caso es de 11 000 lm, por tanto, según el flujo luminoso, la altura de punto de luz esta entre los 8 metros a 10 metros.

Observando la Tabla 19 se elige la altura del poste de 9 metros, dicha altura se toma desde la base del piso, por que estará montado en una base de concreto anclado asegurado con pernos de anclaje.

4.1.3.7 Distancia entre estructuras (postes)

Para calcular la distancia entre estructuras, se procede de la siguiente manera:

- Primero, se establece el flujo luminoso

$$\Phi = 11000 \text{ lm}$$

El cual se extrae del catálogo de la luminaria seleccionada (Anexo 2.1).

- Segundo, determinamos el ancho de la calzada: (ancho a iluminar)

Vía vehicular 6m y vía peatonal 4m



$$A = 10m$$

- Tercero, se establece la altura útil del poste de alumbrado:

La distancia desde la superficie de la tierra hacia la luminaria será la altura de la estructura:

$$H = 9m$$

- Cuarto, se considera el factor de mantenimiento:

$$F_m = 0.85$$

- Quinto, se establece la iluminancia media sobre la calzada: considerando las recomendaciones de DGE se tiene:

$$E_m = 25 \text{ lux}$$

- Sexto, se establece el factor de utilización:

Tal como se detalla en las características de la luminaria a una altura determinada, el factor de utilización será:

$$\eta = 0.60$$

De la siguiente ecuación, determinamos la distancia entre estructuras.

$$d = \frac{\eta \times F_m \times \phi}{A \times E_m}$$

$$d = \frac{0.60 \times 0.85 \times 11000}{10 \times 25}$$

$$d \cong 21m$$

Analizando el resultado obtenido y deseando lograr una distancia mayor entre postes, teniendo en consideración los parámetros calculados, con este resultado se obtendría un alumbrado totalmente homogéneo en toda la calzada en consecuencia se podría ampliar más las distancias, además teniendo en cuenta que la iluminancia media uniforme seleccionada era de 25 lux, el cual es mayor del valor mínimo establecido por la norma, donde indica que debe ser 20 lux.



Con las consideraciones mencionadas, se determina que la distancia entre estructuras (postes) será de 25m.

4.1.3.8 Selección del poste metálico para iluminación vial

La estructura seleccionada para el alumbrado público con sistema de iluminación LED y paneles fotovoltaicos, son postes metálicos galvanizados cumpliendo con las normas internacionales como la NTC y las ET204 “Postes Metálicos para alumbrado público” lo cual serán de acero galvanizado. Los postes tienen las siguientes características según su altura como se muestran en la Tabla 22.

De acuerdo a las características de la avenida y la luminaria a utilizar se tiene las dimensiones referenciales en la tabla 22, brindadas por Codensa, de donde se eligió un poste de acero galvanizado de 9 metros.

4.1.3.9 Anclaje de poste metálico

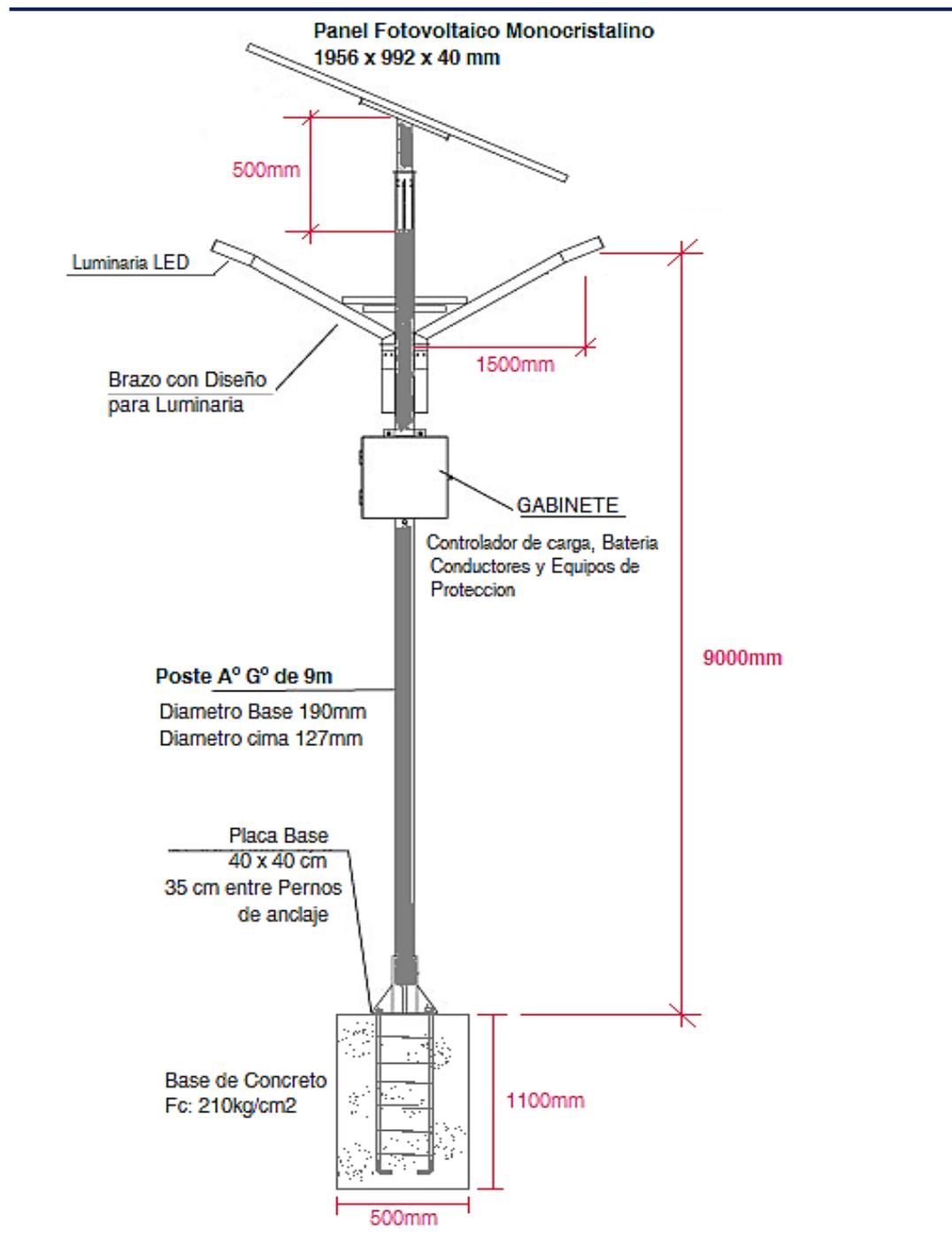
Para el izado del poste metálico es fundamental que este correctamente anclado, cuando se instale la zapata o base del poste es preciso que se tome en cuenta el peso y altura de la luminaria (Mamani, 2017). Las características se muestran en la Tabla 23.

De acuerdo con las especificaciones mostradas en la Tabla 23, para un poste de 9 metros, la longitud de cimentación es de 1,10 metros, y la base indica 450 x 400 mm. Sin embargo para el presente proyecto se recomienda que las dimensiones de la base sean de 500 x 500 mm, debido a la carga adicional que soportara la estructura, así como el conjunto del sistema solar fotovoltaico, similarmente la distancia entre pernos de anclaje sea de 350mm.

4.1.3.10 Esquema general de montaje del sistema propuesto

Una vez establecida las características de la estructura (poste) y las dimensiones de anclaje, se muestra el esquema general de montaje para el alumbrado público con iluminación LED y panel fotovoltaico propuesto.

Figura 53: Esquema de montaje general del sistema propuesto



Elaboración Propia



4.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA

Para la evaluación económica que permita la implementación del sistema de iluminación fotovoltaica con tecnología LED en la Av. Circunvalación II distrito de Juliaca, se detalla la inversión que se necesita y los beneficios netos económicos que se recuperará durante la producción de energía.

4.2.1 Condiciones para la Evaluación

- Costo de implementación necesario para la inversión del sistema de iluminación fotovoltaica.
- El periodo de análisis se ha considerado del año 2022 hasta el año 2042.
- La vida útil de las instalaciones se ha considerado 20 años excepto las Baterías con una vida útil de 8 años aproximadamente.
- La evaluación del proyecto se ha realizado a precios del mercado actual.
- La tasa de descuento (valor del dinero en el mercado), base utilizada es de 11%.
- El análisis de sensibilidad se ha efectuado entre las tasas de: (8% - 16%)
- Para el gasto mantenimiento se ha tomado en cuenta la durabilidad de equipos a instalar y haciendo un cálculo se aproxima a 1% de la inversión inicial.
- La renovación de equipamiento como baterías se considera en periodos de 8 años y con el 15% de la inversión inicial.

4.2.2 Presupuesto referencial de sistema de iluminación led con panel fotovoltaica

Para la implementación del sistema de iluminación LED con paneles fotovoltaica, consideramos los costos en materiales y equipos (Panel solar, luminarias Led, Baterías solar, controladores, conductores, estructuras metálicas, accesorios), montaje

electromecánico, transporte y gastos generales que conlleva ejecutar el proyecto. En la cual resulta un presupuesto referencial de S/ 16,535,011.88. Anexo 3.1.

4.2.3 Presupuesto referencial sistema convencional de iluminación

La ejecución de alumbrado público con iluminación de sistema convencional, se considera los costos en materiales (Luminaria VSAP, postes de concreto, conductores subterráneos, accesorios), montaje electromecánico, movimiento de tierra para cableado subterráneo, transporte, gastos generales y demás que conlleva a ejecutar dicho proyecto. Donde para este tipo de sistema resulta un presupuesto referencial de S/ 9,262,818.43. Anexo 3.2.

4.2.4 Análisis de beneficios y ahorro económico

Se realiza una comparación de balance económico entre alumbrado público con sistema de iluminación LED con paneles fotovoltaicos y el alumbrado público con sistema convencional con energía de corriente alterna para la Av. Circunvalación II. Donde utilizaremos resultados proyectados técnico económicos para el proyecto de investigación.

4.2.4.1 Costo de energía en sistema propuesto

Para determinar el costo de energía, se requiere el consumo total de energía por el sistema de iluminación LED para el alumbrado público de toda la Av. Circunvalación II, además el precio del kWh por mes dadas por la concesionaria de distribución de energía eléctrica.

Para determinar el costo mensual y anual aplicamos la siguiente ecuación:

$$Ct_{mensual} = P_r \times C_t$$

$$Ct_{mensual} = 0.8425 \times 57063.33$$

$$Ct_{mensual} = 48080.6 \text{ Soles}$$

Donde:

Pr: Precio del kWh (S//mes 0.8425, según Electro Puno), Ct consumo total de energía (kWh/mes).

Tabla 33: Costo de la energía fotovoltaica con iluminación LED

Costo kWh - concesionaria	S/ 0.8425
Costo Energía - Mensual	S/ 48,080.60
Costo Energía - Anual	S/ 584,979.90
IGV 18%	S/ 105296.38
Costo Total Energía - Anual	S/ 690,276.28

Elaboración Propia

Realizando los cálculos se obtiene un consumo tarifario de energía fotovoltaica de S/. 690276.28 al año.

4.2.4.2 Costo de energía en sistema convencional

Para determinar el costo de energía, se requiere el consumo total de energía por el sistema de iluminación convencional para el alumbrado público de toda la Av. Circunvalación II, además el precio del kWh por mes dadas por la concesionaria de distribución de energía eléctrica.

$$Ct_{mensual} = 0.8425 \times 139623.78$$

$$Ct_{mensual} = 117637.78 \text{ Soles}$$

Donde:

El Precio del kWh es S//mes 0.8425, según Electro Puno vigente Mayo 2022.

Tabla 34: Costo de la energía con sistema convencional

Costo kWh - concesionaria	S/ 0.8425
Costo Energía Mensual	S/ 117,637.78
Costo Energía Anual	S/ 1,431,258.92
IGV 18%	257626.61
Costo Total Energía Anual	S/ 1,688,885.53

Elaboración Propia

Realizando los cálculos con los costos por kWh de energía se obtuvo un consumo tarifario de energía convencional de S/. 1,688885.53 por año, el cual se convierte en ahorro energético en caso de implementarse la iluminación con generación solar fotovoltaica.

4.2.4.3 Ahorro económico energético anual

Teniendo los resultados del costo anual de iluminación con energía convencional y sistema fotovoltaico obtenemos el ahorro anual energético.

Ahorro Energético SVF	S/ 690,276.28
Ahorro Energético Convencional	S/ 1,688,885.53
Ahorro Energético total	S/ 2,379,161.81

Observando los resultados, se determina un ahorro económico anual de S/.2,379,161.81.

4.2.4.4 Costo por mantenimiento

Costo por mantenimiento del Sistema Fotovoltaico

Para determinar el costo por mantenimiento se consideró el 1% de la inversión total del proyecto en un periodo de tiempo, teniendo en consideración la vida útil de los equipos que conforman el sistema de iluminación LED con paneles fotovoltaicos, se

consideró un 15% de la inversión total. La evaluación por mantenimiento se realiza para la vida proyectada del proyecto.

Tabla 35: Costo referencial por mantenimiento de sistema fotovoltaico

Año	Descripción	Costo por Mantenimiento	Inversión (S/)
0	Adquisición e instalación de Materiales y equipos		S/ 16,535,011.88
1	Mantenimiento SFV y equipos de iluminación	1%	S/ 165,350.12
2	Mantenimiento SFV y equipos de iluminación	1%	S/ 165,350.12
3	Mantenimiento SFV y equipos de iluminación	1%	S/ 165,350.12
4	Mantenimiento SFV y equipos de iluminación	1%	S/ 165,350.12
5	Mantenimiento SFV y equipos de iluminación	1%	S/ 165,350.12
6	Mantenimiento SFV y equipos de iluminación	1%	S/ 165,350.12
7	Mantenimiento SFV y equipos de iluminación	1%	S/ 165,350.12
8	Mantenimiento SFV y equipos de iluminación	15%	S/ 2,480,251.78
9	Renovación de Baterías y controladores	1%	S/ 165,350.12
10	Mantenimiento SFV y equipos de iluminación	1%	S/ 165,350.12
11	Mantenimiento SFV y equipos de iluminación	1%	S/ 165,350.12
12	Mantenimiento SFV y equipos de iluminación	1%	S/ 165,350.12
13	Mantenimiento SFV y equipos de iluminación	1%	S/ 165,350.12
14	Mantenimiento SFV y equipos de iluminación	1%	S/ 165,350.12
15	Mantenimiento SFV y equipos de iluminación	1%	S/ 165,350.12
16	Mantenimiento SFV y equipos de iluminación	15%	S/ 2,480,251.78
17	Mantenimiento SFV y equipos de iluminación	1%	S/ 165,350.12
18	Renovación de Baterías y controladores	1%	S/ 165,350.12
19	Mantenimiento SFV y equipos de iluminación	1%	S/ 165,350.12
20	Mantenimiento SFV y equipos de iluminación	1%	S/ 165,350.12
			S/ 7,936,805.70

Elaboración Propia

Observando los resultados en la Tabla N° 35, se muestra una inversión total por mantenimiento en el sistema de iluminación fotovoltaica de S/ 7,936,805.70 por los 20 años de vida útil del proyecto.

Costo por mantenimiento del sistema convencional

Para determinar el costo por mantenimiento del sistema convencional se consideran algunos criterios como la vida útil de los equipos de alumbrado público y la

deficiencia de los mismos (Gonzales, 2018): Para ello se consideró el 6% de la inversión total y un 10% por la vida útil de las luminarias, los cuales se evaluaron para un horizonte de la vida útil del proyecto.

Tabla 36: Costo referencial por mantenimiento sistema convencional

Año	Descripción	Costo por Mantenimiento	Inversión (S/)
0	Adquisición e instalación de Materiales y equipos		S/ 9,262,818.43
1	Mantenimiento de equipos de iluminación y SED	6%	S/ 555,769.11
2	Mantenimiento de equipos de iluminación y SED	6%	S/ 555,769.11
3	Mantenimiento de equipos de iluminación y SED	6%	S/ 555,769.11
4	Mantenimiento de equipos de iluminación y SED	6%	S/ 555,769.11
5	Mantenimiento de equipos de iluminación y SED	6%	S/ 555,769.11
6	Renovación de Luminarias	10%	S/ 926,281.84
7	Mantenimiento de equipos de iluminación y SED	6%	S/ 555,769.11
8	Mantenimiento de equipos de iluminación y SED	6%	S/ 555,769.11
9	Mantenimiento de equipos de iluminación y SED	6%	S/ 555,769.11
10	Mantenimiento de equipos de iluminación y SED	6%	S/ 555,769.11
11	Mantenimiento de equipos de iluminación y SED	6%	S/ 555,769.11
12	Renovación de Luminarias	10%	S/ 926,281.84
13	Mantenimiento de equipos de iluminación y SED	6%	S/ 555,769.11
14	Mantenimiento de equipos de iluminación y SED	6%	S/ 555,769.11
15	Mantenimiento de equipos de iluminación y SED	6%	S/ 555,769.11
16	Mantenimiento de equipos de iluminación y SED	6%	S/ 555,769.11
17	Mantenimiento de equipos de iluminación y SED	6%	S/ 555,769.11
18	Renovación de Luminarias	10%	S/ 926,281.84
19	Mantenimiento de equipos de iluminación y SED	6%	S/ 555,769.11
20	Mantenimiento de equipos de iluminación y SED	6%	S/ 555,769.11
			S/12,226,920.33

Elaboración Propia

Observando los resultados de la Tabla N° 36, muestran una inversión total por mantenimiento del sistema de iluminación convencional de S/ 12,226,920.33 por los 20 años de vida útil del proyecto.

4.2.4.5 Ahorro por costo de mantenimiento

Teniendo como base los datos anteriores de los costos por mantenimiento, obtenemos un ahorro económico anual, el cual es resultado de los costos por el uso y mantenimiento de ambos sistemas. Al elegir el sistema de iluminación fotovoltaica con tecnología LED es evidente la eficiencia energética el cual se muestra como un ahorro energético por ende económico. Mostrando los resultados en la etapa de operación y mantenimiento.

Tabla 37: Ahorro económico anual por mantenimiento

Año	Costo Sistema convencional	Costo Mantenimiento SFV con luminaria LED	Ahorro Económico anual
0	-	-	-
1	S/ 555,769.11	S/ 165,350.12	S/ 390,418.99
2	S/ 555,769.11	S/ 165,350.12	S/ 390,418.99
3	S/ 555,769.11	S/ 165,350.12	S/ 390,418.99
4	S/ 555,769.11	S/ 165,350.12	S/ 390,418.99
5	S/ 555,769.11	S/ 165,350.12	S/ 390,418.99
6	S/ 926,281.84	S/ 165,350.12	S/ 760,931.72
7	S/ 555,769.11	S/ 165,350.12	S/ 390,418.99
8	S/ 555,769.11	S/ 2,480,251.78	-S/ 1,924,482.68
9	S/ 555,769.11	S/ 165,350.12	S/ 390,418.99
10	S/ 555,769.11	S/ 165,350.12	S/ 390,418.99
11	S/ 555,769.11	S/ 165,350.12	S/ 390,418.99
12	S/ 926,281.84	S/ 165,350.12	S/ 760,931.72
13	S/ 555,769.11	S/ 165,350.12	S/ 390,418.99
14	S/ 555,769.11	S/ 165,350.12	S/ 390,418.99
15	S/ 555,769.11	S/ 165,350.12	S/ 390,418.99
16	S/ 555,769.11	S/ 2,480,251.78	-S/ 1,924,482.68
17	S/ 555,769.11	S/ 165,350.12	S/ 390,418.99
18	S/ 926,281.84	S/ 165,350.12	S/ 760,931.72
19	S/ 555,769.11	S/ 165,350.12	S/ 390,418.99
20	S/ 555,769.11	S/ 165,350.12	S/ 390,418.99
			S/ 4,290,114.63

Elaboración Propia

Observando los resultados se tiene un ahorro por costos de mantenimiento durante la vida del proyecto que asciende a S/ 4,290,114.63, el cual indica un ahorro de S/ 214,505.73 por año.

4.2.5 Rentabilidad del Proyecto.

Para entender si el proyecto es rentable económicamente se debe obtener el costo de inversión inicial, el flujo neto de caja, el valor actual neto (VAN), la tasa de recuperación (TIR) y el tiempo de recuperación de toda la inversión. Aplicando el análisis de flujo neto efectivo.

Tabla 38: Análisis del flujo neto efectivo

Años	Ingresos por Ahorro	Ingresos por Eficiencia energ.	Egresos Totales	Costo Fijo	Flujo Neto Efectivo
0	0		0	16,535,011.88	-S/ 16,535,011.88
1	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 165,350.12		-S/ 14,106,694.46
2	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 165,350.12		-S/ 11,678,377.03
3	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 165,350.12		-S/ 9,250,059.61
4	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 165,350.12		-S/ 6,821,742.19
5	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 165,350.12		-S/ 4,393,424.76
6	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 165,350.12		-S/ 1,965,107.34
7	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 165,350.12		S/ 463,210.09
8	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 2,480,251.78		S/ 576,625.85
9	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 165,350.12		S/ 3,004,943.27
10	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 165,350.12		S/ 5,433,260.69
11	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 165,350.12		S/ 7,861,578.12
12	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 165,350.12		S/ 10,289,895.54
13	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 165,350.12		S/ 12,718,212.96
14	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 165,350.12		S/ 15,146,530.39
15	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 165,350.12		S/ 17,574,847.81
16	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 2,480,251.78		S/ 17,688,263.57
17	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 165,350.12		S/ 20,116,581.00
18	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 165,350.12		S/ 22,544,898.42
19	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 165,350.12		S/ 24,973,215.84
20	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 165,350.12		S/ 27,401,533.27

Elaboración Propia

Observando los resultados de la Tabla 38, en las condiciones dadas para el proyecto del sistema de iluminación LED con panel fotovoltaico, se considera viable porque la inversión inicial es recuperada antes de la mitad de la vida útil del proyecto.

4.2.5.1 Análisis costo/beneficio

Para determinar el costo beneficio o beneficio costo se evalúa el flujo de caja neto total, tomando en consideración el comportamiento de los ingresos y egresos de dinero al implementar el proyecto. Con dichos resultados se calcular el VAN y TIR, tomando una tasa de descuento o interés del 11% el cual es en base a entidades bancarias presentes en la zona del proyecto, para un periodo de 20 años.

Tabla 39: Flujo de Caja anual

Años	Ingresos por Ahorro	Ingresos por Eficiencia energ.	Egresos Totales	Flujo efectivo
0	0	0	0	-S/ 16,535,011.88
1	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 165,350.12	S/ 2,428,317.42
2	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 165,350.12	S/ 2,428,317.42
3	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 165,350.12	S/ 2,428,317.42
4	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 165,350.12	S/ 2,428,317.42
5	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 165,350.12	S/ 2,428,317.42
6	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 165,350.12	S/ 2,428,317.42
7	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 165,350.12	S/ 2,428,317.42
8	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 2,480,251.78	S/ 113,415.76
9	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 165,350.12	S/ 2,428,317.42
10	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 165,350.12	S/ 2,428,317.42
11	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 165,350.12	S/ 2,428,317.42
12	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 165,350.12	S/ 2,428,317.42
13	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 165,350.12	S/ 2,428,317.42
14	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 165,350.12	S/ 2,428,317.42
15	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 165,350.12	S/ 2,428,317.42
16	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 2,480,251.78	S/ 113,415.76
17	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 165,350.12	S/ 2,428,317.42
18	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 165,350.12	S/ 2,428,317.42
19	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 165,350.12	S/ 2,428,317.42
20	S/ 2,379,161.81	S/ 214,505.73	S/ 165,350.12	S/ 2,428,317.42

Elaboración Propia

Teniendo los valores de la Tabla N° 39, se procede a determinar el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR), con los valores de flujo de caja anual con una proyección de periodo a 20 años, que corresponde a la vida útil del proyecto.

Tabla 40: Resultados del VAN, TIR periodo de retorno y beneficio/costo

Indicador económicos	Valores
VAN	S/ 1,362,101.43
TIR	12%
PR	6.95
B/C	1.08

Elaboración Propia

Observando los valores obtenidos, en la Tabla N° 40, podemos indicar que la propuesta de implementación del sistema de iluminación LED con paneles fotovoltaicos, es beneficioso y rentable, ya que el VAN >0, el TIR es mayor a la tasa de descuento de los sistemas financieros y tenemos un tiempo de retorno de inversión de 6 años con 11 meses.

4.2.5.2 Análisis de Sensibilidad

Se realiza un análisis con la variación de la tasa de descuento para los indicadores económicos VAN, TIR, B/C entre 8 y 16 por ciento de descuento.

Tabla 41: Análisis de sensibilidad

Tasa de descuento	8%	10%	12%	14%	16%
Valor Presente Neto (VAN)	S/ 5,380,199.47	S/ 2,554,914.48	S/ 290,607.66	-S/ 1,547,940.39	-S/ 3,059,387.84
Tasa Interna de Retorno(TIR)	12%	12%	12%	12%	12%
Relación Beneficio Costo	1.33	1.15	1.02	0.91	0.81

Elaboración Propia

Al analizar la Tabla 41, se observa que el VAN se hace negativo con tasas de descuento mayores al 14%.

4.3 ANÁLISIS AMBIENTAL Y EMISIONES DE CO₂

Habiendo seleccionado los equipos a utilizar, como potencia y el consumo energético, se puede realizar estimaciones para determinar las emisiones de CO₂ que se producen con el uso del sistema convencional de alumbrado público.

Para esta estimación se utilizó las equivalencias de gases de efecto invernadero de Agencia de Protección Ambiental (EPA, s.f.) de Estados Unidos. Según esta metodología, 1 kWh equivale a 0.708 kg de CO₂, sin embargo para Perú se considera 0.315 kg CO₂ por kWh de potencia.

Con los resultados tenemos una potencia consumida por día de 1902.1kWh/día, para un año será 694270.51kWh/Año. Dicho consumo se convierte en un ahorro energético al utilizar sistemas de iluminación solar fotovoltaica.

Tabla 42: Emisiones de CO₂ evitadas etapa operativa

Año	Ahorro Energético Anual (kWh)	Emisiones de CO₂ (Toneladas)
0	0	0
1	694270.51	218.70
2	1388541.01	437.39
3	2082811.52	656.09
4	2777082.03	874.78
5	3471352.53	1093.48
6	4165623.04	1312.17
7	4859893.55	1530.87
8	5554164.05	1749.56
9	6248434.56	1968.26
10	6942705.07	2186.95
11	7636975.58	2405.65



(Continuación...)	12	8331246.08	2624.34
	13	9025516.59	2843.04
	14	9719787.10	3061.73
	15	10414057.60	3280.43
	16	11108328.11	3499.12
	17	11802598.62	3717.82
	18	12496869.12	3936.51
	19	13191139.63	4155.21
	20	13885410.14	4373.90

Elaboración Propia

Observando los resultados de la tabla 42 tenemos un ahorro energético total de 13.89 GWh/20Años, que corresponde a la vida útil del proyecto. También observamos que se evita la emisión de CO₂ de **218.70 Ton/Año**. Que corresponde a la etapa de operación del sistema.

De acuerdo con el Protocolo de Kioto (2019), esta reducción de emisión de CO₂, puede ser transferida a cualquiera de las partes incluidas dentro de este protocolo. Según la bolsa de Sendeco2 el precio del CO₂ a junio del 2019 es de 25.24 €/ton.

Considerando tipo de cambio 1€ a S/ 3.85 se calcula el costo por emisiones de CO₂.

$$25.24 \frac{\text{€}}{\text{Ton}} \times \frac{3.85 \text{ soles}}{1\text{€}} = 97.17 \frac{\text{Soles}}{\text{Ton}}$$

$$97.17 \frac{\text{Soles}}{\text{Ton}} \times 218.7 \frac{\text{Ton CO}_2}{\text{Año}} = 21,251.49 \frac{\text{Soles}}{\text{Año}}$$

Obtenemos el costo por emisiones de CO₂ que asciende a S/ 21,251.49 por año, y S/ 425,029.77 por la vida útil del proyecto. Con dichos resultados podemos afirmar que uno de los principales beneficios que tendrá este proyecto es el beneficio ambiental, aportando en la disminución de emisiones de CO₂.

4.4 RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Al realizar la evaluación comparativa de alumbrado público para la Av. Circunvalación II, con iluminación LED alimentada de paneles fotovoltaicos, respecto al sistema convencional, resulta que el sistema propuesto tiene mayores ventajas y beneficios que lograría brindar a la población. Adicionalmente el proyecto propuesto resulta ser rentable económicamente, más aun es amigable con el medio ambiente.

Tabla 43: Resumen de resultados objetivos

Evaluación comparativa del sistema de iluminación LED con paneles fotovoltaicos al respecto de la iluminación convencional para la Av. Circunvalación II					
Variables e indicadores según objetivos del proyecto		Iluminación LED con paneles fotovoltaicos	Iluminación convencional	resultado	
Eficiencia energética	Consumo de energía (kWh/mes)	57,063.33	139,623.78	59.13%	Representa el ahorro energético
Beneficio Económico	Costo de implementación (S/)	16,535,011.88	9,262,818.43	- 43.98%	El costo por el sistema propuesto es mayor
	Costo de mantenimiento (S//Año)	396,840.29	611,346.02	35.09%	Costo menor por mantenimiento
	Costo a pagar por energía (S//Año)	690,276.28	1,688,885.53	59.13%	Ahorro económico
Emisiones de CO2	(Toneladas/Año)	-	218.70	Representa la Cantidad de emisiones de CO2 evitados al medio ambiente	

Elaboración Propia

El alumbrado público con iluminación LED alimentada con paneles fotovoltaicos presenta una mejora en la eficiencia energética de 59.13%, en comparación con el sistema de iluminación convencional, esto se debe al uso de luminarias LED de alta eficacia y que son alimentadas netamente con energías renovables. Adicionalmente este sistema trae



beneficios económicos a los usuarios como en la disminución de pagos mensuales por concepto de tarifas eléctricas por alumbrado público, así mismo por concepto de mantenimiento que puede llegar a ser 35.09% menor que el sistema convencional. Por otro aspecto el sistema de iluminación LED con paneles fotovoltaicos da beneficios al medio ambiente por el uso de energías renovables, el cual se debe a que se deja de utilizar energía eléctrica alterna el cual es generado en gran porcentaje por combustibles fósiles que conllevan a emisiones de CO₂ al medioambiente, evitándose 218.7 toneladas de CO₂ anuales en la etapa de operación. Por lo anterior mencionado se propone que el alumbrado público de la Av. Circunvalación II sea con iluminación LED alimentada por panel fotovoltaico, resultando tener mejores beneficios que brinde a la población, así con en eficiencia energética, beneficios económicos y ser amigable con el ambiente.

4.5 DISCUSIÓN

- En el estudio de Pérez (2019), en su tesis “Diseño de un sistema de iluminación Fotovoltaico mediante tecnología led para el parque central de la provincia de Jaén – Cajamarca” desarrolla el dimensionamiento y un estudio económico del sistema fotovoltaico con tecnología LED para la iluminación del parque, donde indica que resulta ser viable económicamente ya que se abastece de energía eléctrica de forma independiente generada por paneles solares, siendo rentable con un tiempo de recuperación de inversión en 7 años con 4 meses. Además servirá como proyecto piloto por presentar grandes ventajas donde se requiere confiabilidad, bajo costo de servicio eléctrico y buena iluminación (Pérez, 2019).



- En el estudio de Morales et al. (2015), en su tesis Propuesta de diseño de alumbrado público alimentado con energía solar y con estación de carga, desarrolla el alumbrado público con estación de carga el cual no estará interconectado a la red eléctrica, y que servirá para beneficiar a una sociedad específica, brindando seguridad en las noches y proveer recarga de emergencia para dispositivos móviles; donde demuestra que el proyecto es sostenible y que es posible utilizar con éxito fuentes alternativas de energía eléctrica, para ayudar a la conservación del medio ambiente, además el sistema solar fotovoltaico propuesto es eficiente y cumple a cabalidad con los parámetros de diseño, es económico y brinda los beneficios de alumbrado público para proporcionar mayor seguridad por las noches. (Morales et al., 2015).
- La iluminación actual de la Av. Circunvalación II, se encuentra con poca iluminación que están ubicados en sus laterales en una extensión pequeña en comparación con la longitud total de la avenida. además las vías de la avenida en su totalidad no están materializadas, es por ello la propuesta de iluminación nueva con sistema fotovoltaico y tecnología LED, que resulta ser más ventajosa que el sistema de iluminación convencional, llegando a tener un ahorro energético de 59.13%. además es rentable económicamente, y el mejor beneficio es el uso de energías renovables en generación de energía eléctrica en magnitudes significativas en la región.
- Para el análisis de irradiación solar, se consideraron los datos de referencia por departamento tomados del Atlas de Energía Solar del Perú – 2003, teniendo como datos de respaldo los parámetros climatológicos que brinda la NASA. Con la



información disponible se consideró el valor más bajo de irradiación solar anual, siendo este 5.06 kWh/m² tomadas de Atlas Perú, y 5.64 kWh/m² brindados por la NASA para la zona del proyecto. Considerando estos valores se elige la irradiación de 5.06 kWh/m², para poder obtener resultados adecuados que permitan elegir especificaciones técnicas de los equipos de la fuente energética fotovoltaica optimas y así no difieran en su rendimiento de funcionamiento.

- Los paneles solares fotovoltaicos en la actualidad están fabricados de células de silicio (SI) en su mayor porcentaje, este material semiconductor puede ser monocristalino, que tienen mejor eficiencia de conversión de energía solar que la policristalina (Alvarado, 2015). Para el diseño se utilizó paneles fotovoltaicos monocristalinos, por poseer mayor eficiencia energética y una durabilidad mayor a 25 años de operación. En el presente proyecto seleccionamos un panel solar monocristalino AE-SOLAR, AE M6-72 de 380 Wp, un voltaje nominal de 24V, con una eficiencia de 19.58%.
- Para acumular energía generada durante el día para utilizar en la noche se requieren acumuladores adecuados para tal fin, es por ello que en sistemas fotovoltaicos se emplean baterías de descarga profunda entre 50 y 80% y las más utilizadas son de plomo – acido, teniendo una garantía de vida mayores a 5 años, también tenemos baterías de Gel estacionarias que alcanzan su garantía de vida hasta 20 años. Para el presente proyecto se usará una Batería de Gel ciclo profundo Voltem de 225Ah y 24V, con una garantía de vida útil mayor a 10 años.



- Para la iluminación del alumbrado público se propone el uso de luminarias LED, ya que son mucho más eficientes y menos contaminantes que el sistema convencional como las luminarias vapor de Sodio de alta presión, y así reducir las emisiones de gases contaminantes a lo largo del tiempo, generando no solo un incremento de utilidades a las concesionarias sino también ayudar en aliviar la contaminación ambiental. La eficacia de la luminaria LED resulta ser 50% mayor que la luminaria VSAP, aportando en el ahorro energético de manera significativa. Similarmente sus costos de mantenimiento y operación son mucho menores y la vida útil de los LED es mayor.
- Para la evaluación económico, se tomó el costo unitario de kWh de energía consumida de alumbrado público del pliego tarifario BT5C que corresponde a 84.25ctm.S//kW.h y S/ 4.75 como costo fijo. Siendo este el valor actual hasta la fecha, considerado por la empresa Electro Puno. Realizando la evaluación utilizando luminarias LED de 65W y 50 W para el sistema de iluminación fotovoltaico y luminarias VSAP de 150W y 120W para el sistema de iluminación convencional. Con tiempos de operación máximos de 12h/día para alumbrado público de la Avenida.
- Al elegir un sistema de iluminación LED alimentada con panel fotovoltaico, se ha comprobado mayor eficiencia en comparación con la iluminación convencional con energía de corriente alterna y luminarias VSAP, en la cual cumpliendo con la normativa técnica DGE (“Alumbrado de vías en Zonas de Concesión de Distribución”,2002), con una diferencia mayor al 59.13% respecto al sistema convencional de iluminación.



V. CONCLUSIONES

Con base a la evaluación realizada al sistema de iluminación LED con paneles fotovoltaicos para la Av. Circunvalación II del presente proyecto de investigación, se concluye que el sistema propuesto es rentable económicamente, ayuda en la mejora de la eficiencia energética y es amigable con el medio ambiente. Generando beneficios significativos a la población.

- Al realizar la evaluación y determinar los parámetros del sistema de iluminación solar fotovoltaica con luminarias LED se logra demostrar la eficiencia energética del sistema de alumbrado público con un 59.13% frente a la iluminación convencional. Teniendo como dato inicial la irradiación solar de 5.06kWh/m² según la ubicación geográfica, para la generación de energía fotovoltaica y su dimensionamiento.
- Con la evaluación económica se ha obtenido índices de rentabilidad favorables del proyecto, logrando tener un ahorro económico en comparación de los pagos mensuales de alumbrado público en el sistema convencional. Adicionalmente el sistema de iluminación LED con paneles fotovoltaicos presenta un tiempo de recuperación de la inversión en 6 años y 11 meses, que es menor al tiempo de vida útil del sistema (20 años). Realizando el análisis con las herramientas de viabilidad del proyecto se obtuvo un VAN>0, y una TIR de 12% que es mayor a la tasa de descuento. Con dichos resultado se concluye que el proyecto es viable y rentable.
- Realizando el análisis de impacto ambiental, con el presente proyecto se evitará la emisión de CO₂ en cantidad proporcional al consumo de energía, que equivale a 218.70 Ton CO₂ anuales, en su etapa operativa. Teniendo claro que con el sistema convencional de iluminación, la emisión de CO₂ sería mayor al 140%. Por ello el



proyecto del sistema de iluminación LED fotovoltaico es viable ambientalmente, ya que permitiría la disminución sustancial de emisiones de CO₂ a la atmósfera, contribuyendo a la mitigación del cambio climático.



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios en la mejora de la eficiencia energética con el uso de paneles fotovoltaicos bifaciales, para su uso y el comportamiento en el alumbrado público.
- Para futuros avances se recomienda realizar un estudio aplicando la telegestión para todo el sistema de iluminación de alumbrado público, ya que las luminarias LED pueden ser adaptadas a ésta y monitorizadas en tiempo real como un sistema completo.
- Se recomienda realizar estudio técnico y económico en el mantenimiento de iluminación LED con paneles fotovoltaicos en alumbrado público a escala comercial, para determinar sus procedimientos y costos que permita realizar comparaciones con otros sistemas de iluminación.
- Se recomienda a las autoridades implementar el alumbrado público de la Av. Circunvalación II con sistemas de iluminación LED alimentados con paneles solares fotovoltaicos. Ya que es un sistema autónomo e independiente y se obtiene grandes ventajas de aplicación donde se requiere confiabilidad, eficiencia y una buena iluminación, que trae beneficios a la población.
- Para sistemas de iluminación fotovoltaicos, en alumbrado público. Se recomienda el uso de paneles solares monocristalinos ya que presentan mayor eficiencia y un tiempo de vida prolongada de 25 años, frente a paneles fotovoltaicos policristalinos con una vida máxima de 15 años.



VII. REFERENCIAS

- Alvarado, E., (2010). *Sistemas Fotovoltaicos para iluminación en 12V., 24V., 48V., 3ra.* Edición. México.
- Ávalos Marmanillo M., Vargas Valencia W. (2012). *Mejoramiento de la gestión del servicio de alumbrado público en la Ciudad del Cusco.* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12918/873>.
- Barrios, (2015). *Perú ahorraría hasta US\$ 600 millones al año si usa tecnología LED en alumbrado público* [Expo Perú en energías]. <https://gestion.pe/economia/peru-ahorraria-us-600-millones-ano-tecnologialed-alumbrado-publico-100402>.
- Calderón Fernández, L. (2014). *Tecnología led en un punto de luz de alumbrado público para elevar la eficiencia en iluminación de vía local comercial* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/205/PMEC_08.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Corahua Rivas O. (2019). *Calidad del servicio de alumbrado público e implementación de luminarias LED en vías públicas céntricas de la ciudad de puno, 2019.* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano, Puno Perú].
- Correa, H. J. y Gonzales, V. J. (2018). *Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para la generación de energía eléctrica en la Institución Educativa n°287 de la comunidad nativa Cilla Gonzalo, Distrito Río Santiago, Provincia Condorcanqui, Departamento de Amazonas.* [Tesis de grado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque Perú]. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/UNPRG/2198>.



- Dávila Trigozo, M. (2018). *Sistema de iluminación LED que permita reducir el consumo de energía eléctrica del sistema de iluminación de la zona céntrica de Morales, 2018*. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo, Perú].
<http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/27098>.
- Flores, G. A. (2016). *Factibilidad del sistema de alumbrado público empleando luminarias led y alimentación solar fotovoltaica* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana Quito Ecuador].
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12213/3/UPS-KT01248.pdf>.
- García Dominique J., (2017). *Diseño de un sistema de iluminación LED con celdas solares autónomas para áreas externas de la U.C.S.M.* [Tesis de grado, Universidad Católica de Santa María, Arequipa Perú].
- García Fernández y Oriol Boix, (2021). *Luminotecnia, iluminación de interiores y exteriores*. España. Universidad Politécnica de Catalunya. Departamento de Ingeniería Eléctrica. http://recursos.citcea.upc.edu/llum/exterior/vias_p.html.
- Guerrero, A., Ruvalcaba, J. y Vásquez, I. (2016). *Propuesta de alumbrado con iluminación tipo led y paneles fotovoltaicos "estacionamiento de la DEA (Dirección de Administración Escolar) de la I.P.N"*. [Tesis de grado, Instituto Politécnico Nacional, D.F México].
<https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/21082/1/TESIS%20FINAL%20VRI.pdf>.
- Halliday, D. y R. Resnick. (1993). *Física* (3a. ed., V. 2), México. CECSA.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la Investigación*, Séptima edición. M. G. Hill.
<http://observatorio.epacartagena.gov.co/wpcontent/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sextaedicion.compressed.pdf>.



- Hurtado Rodrigo, J. (2017). *Análisis técnico – económico para la optimización del sistema de iluminación de la av. Mártires 4 de noviembre aplicando luminarias con tecnología led*. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano, Puno Perú].
http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/6589/Hurtado_Rodrigo_Jhon.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- International Energy Agency (IEA). (2016). *Indicadores de Eficiencia Energética: Fundamentos Estadísticos*. Francia.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). *IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007*.
https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/es/tssts-2-1.html.
- Lara López, E., Mondragón Cruz, J. y Santiago Bautista, D. (2009). *Estudio y análisis de ingeniería en alumbrado público con luminarios de led en la periferia del reclusorio norte*. [Tesis de grado, Instituto Politecnico Nacional, México].
<https://1library.co/document/1y9572wz-estudio-analisis-ingenieria-alumbrado-publico-luminarios-periferia-reclusorio.html>
- Mamani, J. I. (2017). *Diseño y cálculo del sistema de energía fotovoltaico para la iluminación pública del malecón turístico de la playa de la Meca-Tacna*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú].
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/5096>.
- Mejía, E. J. (2018). *Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica al laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Amazónica*. [Tesis de grado, Universidad Politécnica Amazónica, Bagua Grande, Perú].



- MINEM (2015). Plan de Electrificación Rural Periodo 2016-2025. Dirección General de Electrificación Rural. Perú.
- MINEM. (2002b). Norma Técnica DGE “Alumbrado de Vías Públicas en Zonas de Concesión de Distribución.”
<http://www.osinerg.gob.pe/newweb/uploads/Publico/8.Normatecnicaalumbrado.pdf>
- MINEM. (2006). Código Nacional de Electricidad Utilización.
<http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dge/publicaciones/compendio/rm037-2006.pdf>.
- MINEM. (2012). Código Nacional de Electricidad Suministro 2011.
<http://spij.minjus.gob.pe/Graficos/Peru/2011/Mayo/05/RM-214-2011-MEM-DM.pdf>.
- Morales Vázquez, H. B., Morales Vázquez, N. E., palacios romo, M., Rosas Acosta, E. (2015). *Propuesta de diseño de alumbrado público alimentado con energía solar y con estación de carga*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.].
https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000734765.
- Niño Rojas V. (2011). *Metodología de la Investigación diseño y ejecución*. Ediciones de la U.
- Obralux, Luminotecnia (1997). <http://www.obralux.com/2lumnino.asp>.
- Osinergmin. (2017). La industria de la energía renovable en el Perú: 10 años de contribuciones a la mitigación del cambio climático, Lima.
- Perú, Atlas de Energía Solar (2003). Ministerio de Energía y Minas. Proyecto PER/98/G31: electrificación rural a base de energía fotovoltaica en el Perú.
http://www.senamhi.gob.pe/pdf/atlas_solar.pdf.



- Philips (2022). Luminarias de Alumbrado Público. Green Visión BGP361/362/363.
http://download.p4c.philips.com/14bt/3/377024/greenvision_bgp361362363_377024_ffs_aen.pdf.
- Pérez, D. O. (2009). *Análisis de un sistema de iluminación, utilizando ampollas de bajo consumo y alimentado por paneles fotovoltaicos*. [Tesis de grado, Universidad Austral de Chile, Valdivia Chile].
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcip434a/doc/bmfcip434a.pdf>.
- RETILAP (2010). Reglamento técnico de iluminación y Alumbrado público. Ministerio de Energía y Minas, Colombia.
- Salavarría, M. C. (2016). *Análisis y selección de fuente energética fotovoltaica para el alumbrado público de la carretera que enlaza la Universidad Cesar Vallejo con el Distrito de Morales Provincia de San Martín*. [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo, Trujillo, Perú].
http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/9630/salavarria_vm.pdf?sequence=1&isallowed=y.
- Ticona Llangato C. (2015). *Análisis de Iluminación e Implementación de un Sistema de Lámpara para el Alumbrado Público Basado en Tecnología LED con Control de Intensidad*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú].
http://repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/1927/676_2015_ticona_llangato_ce_faci_fisica_aplicada.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ttacca, J., Mostajo, A. (2017). *Estudio de la eficiencia energética en los sistemas hospitalarios de salud- Hospital II Ayaviri*. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/5986>



Valdiviezo S. (2014). *Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP* [Tesis de grado, Pontificia universidad católica del Perú, Lima Perú].
<http://hdl.handle.net/20.500.12404/5447>.

ANEXO 2: CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE EQUIPOS Y MATERIALES

ANEXO 2.1: Especificaciones técnicas de Luminarias LED

BRP392 LED80/CW 50W DM SD 12.5M

Conjunto integral de luces viales solares desde 5000 lúmenes hasta 24,000 lúmenes con una eficacia de 170 lm/W y la opción de versiones híbridas. Ideal para carreteras, autopistas y estacionamientos principales. Perfil de regulación de intensidad y vatios de carga configurables.

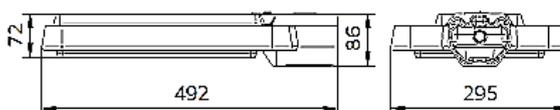
Datos del producto

Funcionamiento de emergencia	
Controlador incluido	No
Tipo de cubierta/lente óptico	
	Polycarbonato
Cable	
	Cable de 12,5 m con conector Molex
Material	
	Aluminio fundido a presión
Mecánicos y de carcasa	
Tensión de entrada	24 V
Kit de conexión por cable	Incluye
Controles y regulación	
Con regulación de intensidad	Si
Capacidad de configuración	Configurable
Datos técnicos de la luz	
Longitud total	492 mm
Ancho total	295 mm
Altura total	86 mm
Nombre del producto del pedido	BRP392 LED80/CW 50W DM SD 12.5M
Código del pedido	911401815702
Numerator - Quantity Per Pack	1
Numerator - Packs per outer box	1
Material Nr. (12NC)	911401815702

Aprobación y aplicación	
Código de protección de Ingreso	IP66 [Protección contra el Ingreso de polvo, a prueba de chorro de agua]
Código de protección de Impacto mec.	IK08 [5 J protección contra vandalismo]
Información general	
Initial luminous flux (system flux)	8000 lm
Eficacia de la Luminaria LED Inicial	160 lm/W
Temperatura de color correlacionada intc.	5700 K
Int. Color Rendering Index	>70
Rendimiento en el tiempo (conforme con IEC)	
Median useful life L70B50	50000 h
Condiciones de aplicación	
Rango de temperatura ambiente	-30 a +50 °C
Perfil de regulación solar	Configurable
Ubicación de la batería	Outside Luminaire
Datos de producto	
Código del producto completo	911401815702
Net Weight (Piece)	7,000 kg



Plano de dimensiones



ANEXO 2.2: Especificaciones técnicas de Panel fotovoltaico 380Wp

TECHNICAL DATA AE M6-72 Series 360W-380W

SPECIFICATIONS		AE360M6-72	AE365M6-72	AE370M6-72	AE375M6-72	AE380M6-72
Nominal Max. Power	Pmax (Wp)	360	365	370	375	380
Maximum power voltage	Vmp(V)	39.55	39.58	39.63	39.66	39.71
Maximum power current	Imp (A)	9.10	9.22	9.34	9.46	9.57
Open-circuit voltage	Voc(V)	47.38	47.42	47.48	47.53	47.59
Short-circuit current	Isc (A)	9.62	9.65	9.69	9.75	9.82
Module efficiency	(%)	18.55	18.81	19.07	19.33	19.58
Power tolerance	Pmax (Wp)	0 / + 5				
Maximum system voltage DC	(V)	1000				
Operating temperature	(°C)	-40 to +85				
Temp. coefficients of Pmax	(%/°C)	-0.38				
Temp. coefficients of Voc	(%/°C)	-0.29				
Temp. coefficients of Isc	(%/°C)	0.05				
Nom. Operating cell temp.(NOCT)	(°C)	45±2				

The electrical data apply to standard test conditions (STC): Irradiance of 1000 W/m² with spectrum AM 1.5 and a cell temperature of 25°C.

MATERIAL CHARACTERISTICS

Cell type	Mono-crystalline 156.75mm x 156.75mm
No. of cells	72 (6 x 12)
Dimensions	1956 x 992 x 40mm
Weight	21 kg
Junction box	IP 67 rated
Output cable	1 x 4.0mm ² , 1200mm length or customised
Connector type	MC 4 / MC 4 compatible
Hail resistance	Max. Ø 28 mm, at 23 m/s
Wind load	2400 Pa / 244 kg/m ²
Mechanical load	5400 Pa / 550 kg/m ²

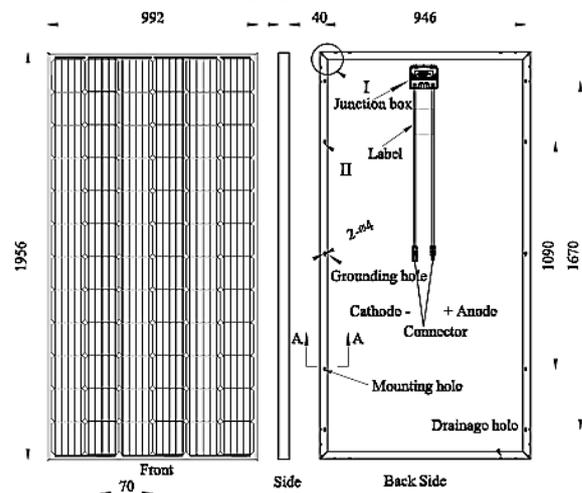
PACKAGING INFORMATION

Packing configuration	56 pcs / double pallet
Loading Capacity	672 pcs / 40HQ
Size / pallet (mm)	1990 x 1120 x 2335
Weight	1300 kg / pallet

CERTIFICATES



DIMENSIONS



ANEXO 2.3: Especificaciones técnicas Batería Solar

Batería de aplicación solar estacionaria 24 Gel a 24V 225Ah.

CHARGING INSTRUCTIONS

CHARGER VOLTAGE SETTINGS (AT 77°F/25°C)				
System Voltage	12V	24V	36V	48V
Absorption Charge	14.1 – 14.4	28.2 – 28.8	42.3 – 43.2	56.4 – 57.6
Float Charge	13.5	27	40.5	54

Do not install or charge batteries in a sealed or non-ventilated compartment. Constant under or overcharging will damage the battery and shorten its life as with any battery.

CHARGING TEMPERATURE COMPENSATION

.028 VPC for every 10°F (5.55°C) above or below 77°F (25°C) (add .028 VPC for every 10°F (5.55°C) below 77°F and subtract .028 VPC for every 10°C above 77°F).

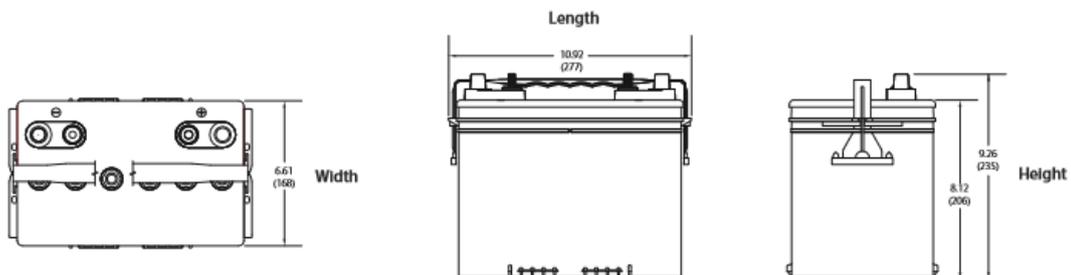
OPERATIONAL DATA

Operating Temperature	Self Discharge
-4°F to 113°F (-20°C to +45°C). At temperatures below 32°F (0°C) maintain a state of charge greater than 60%.	Less than 3% per month depending on storage temperature conditions.

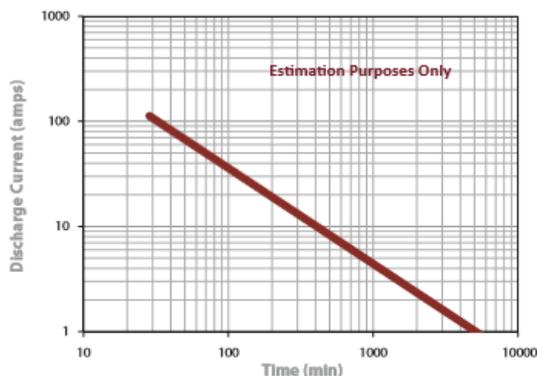
Batteries may be utilized at higher temperatures with the understanding that battery life will be reduced by 50% for every 10° C (18° F) increase in operating temperatures over 68° F (20° C).

TERMINAL CONFIGURATIONS

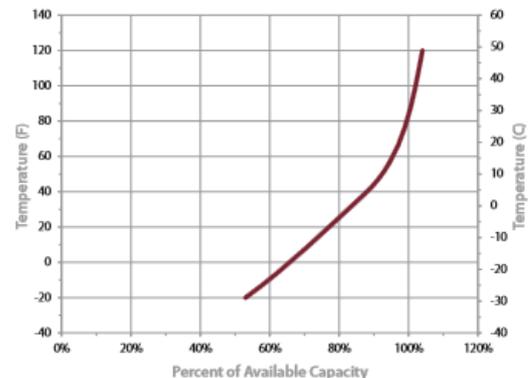
6	DT	Automotive Post & Stud Terminal
		
Terminal Height Inches (mm)		
.79 (20)		
Torque Values in-lb (Nm)		
Bolt: 95 – 105 (11 – 12)		
AP: 50 – 70 (6 – 8)		
ST: 120 – 180 (14 – 20)		
Bolt Size		
5/16 – 18		



TROJAN 24-GEL PERFORMANCE



PERCENT CAPACITY VS. TEMPERATURE



ANEXO 2.4: Especificaciones técnicas Controlador de Carga MPPT

Controladores de carga SmartSolar con salida de carga MPPT 75/10, 75/15, 100/15, 100/20, 100/20-48V

www.victronenergy.com



Controlador de carga SmartSolar
MPPT 75/15



Detección de Bluetooth
Smart Battery Sense



Detección de Bluetooth
BMV-712 Smart Battery Monitor



Bluetooth Smart Integrado

La solución inalámbrica para configurar, controlar, actualizar y sincronizar los controladores de carga SmartSolar.

VE.Direct

Para una conexión de datos con cable a un Color Control GX, otros productos GX, PC u otros dispositivos.

Seguimiento ultrarrápido del Punto de Máxima Potencia (MPPT)

Especialmente con cielos nublados, cuando la intensidad de la luz cambia continuamente, un controlador MPPT ultrarrápido mejorará la recogida de energía hasta en un 30%, en comparación con los controladores de carga PWM, y hasta en un 10% en comparación con controladores MPPT más lentos.

Salida de carga

Se puede evitar que la batería se descargue en exceso conectando todas las cargas a la salida de carga. Esta salida desconectará la carga cuando la batería se haya descargado hasta alcanzar una tensión preestablecida. (Modelo 48V: Interfaz con un relé) También se puede establecer un algoritmo de gestión inteligente de la batería: ver BatteryLife. La salida de carga es a prueba de cortocircuitos.

BatteryLife: gestión inteligente de la batería

Si un controlador de carga solar no es capaz de recargar la batería a plena capacidad en un día, lo que sucede es que el ciclo de la batería cambia continuamente entre los estados "parcialmente cargada" y "final de descarga". Este modo de funcionamiento (sin recarga completa periódica) destruirá una batería de plomo-ácido en semanas o meses. El algoritmo BatteryLife controlará el estado de carga de la batería y, si fuese necesario, incrementará día a día el nivel de desconexión de la carga (esto es, desconectará la carga antes) hasta que la energía solar recogida sea suficiente como para recargar la batería hasta casi el 100%. A partir de ese punto, el nivel de desconexión de la carga se modulará de forma que se alcance una recarga de casi el 100% alrededor de una vez a la semana.

Algoritmo de carga de batería programable

Consulte la sección Asistencia y Descargas > Software en nuestra página web para más información.

Temporizador día/noche y opción de regulador de luminosidad

Consulte la sección Asistencia y Descargas > Software en nuestra página web para más información.

Sensor de temperatura interna

Compensa la tensión de carga de absorción y flotación en función de la temperatura.

Sensor opcional de la tensión y de la temperatura externas de la batería vía Bluetooth

Se puede usar un sensor Smart Battery Sense o un monitor de baterías BMV-712 Smart para comunicar la tensión y la temperatura de la batería a uno o más controladores de carga SmartSolar.

Controlador de carga SmartSolar	MPPT 75/10	MPPT 75/15	MPPT 100/15	MPPT 100/20	MPPT 100/20-48V
Tensión de la batería (Selección automática)	12 / 24V				
Corriente de carga nominal	10A	15A	15A	20A	20A
Potencia FV nominal, 12V 1a,b)	145W	220W	220W	290W	290W
Potencia FV nominal, 24V 1a,b)	290W	440W	440W	580W	580W
Potencia FV nominal, 48V 1a,b)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1160W
Máxima corriente de corto circuito FV 2)	13A	15A	15A	20A	20A
Desconexión automática de la carga	SI				
Tensión máxima del circuito abierto FV	75V		100V		
Eficiencia máxima	98%				
Autoconsumo	12V: 25 mA 24V: 15 mA		25 / 15 / 10 mA		
Tensión de carga de "absorción"	14,4V / 28,8V (ajustable)				14,4V / 28,8V / 57,6V (adj.)
Tensión de carga de "flotación"	13,8V / 27,6V (ajustable)				13,8V / 27,6V / 55,2V (adj.)
Algoritmo de carga	adaptativo multifase				
Compensación de temperatura	-16 mV / °C, -32 mV / °C resp.				
Corriente de carga continua	15A			20A	
Desconexión de carga por baja tensión	11,1V/22,2V/44,4V u 11,8V/23,6V/47,2V o algoritmo BatteryLife				
Reconexión de carga por baja tensión	13,1V/26,2V/52,4V o 14V/28V/56V o algoritmo BatteryLife				
Protección	Cortocircuito de salida/Sobrecalentamiento				
Temperatura de trabajo	De -30 a +60 °C (potencia nominal completa hasta los 40°C)				
Humedad	95%, sin condensación				
Puerto de comunicación de datos	VE.Direct (consulte el libro blanco sobre comunicación de datos en nuestro sitio web)				
CARCAZA					
Color	Azul (RAL 5012)				
Terminales de conexión	6 mm ² / AWG10				
Grado de protección	IP43 (componentes electrónicos), IP22 (área de conexión)				
Peso	0,5 kg		0,6 kg		0,65 kg
Dimensiones (al x an x p)	100 x 113 x 40 mm		100 x 113 x 50 mm		100 x 113 x 60 mm
NORMATIVAS					
Seguridad	EN/IEC 62109-1, UL 1741, CSA C22.2				

1a) Si se conecta más potencia FV, el controlador limitará la entrada de potencia.
1b) La tensión FV debe exceder Vbat + 5V para que arranque el controlador.
Una vez arrancado, la tensión FV mínima será de Vbat + 1V.
2) Un generador fotovoltaico con una corriente de cortocircuito más alta puede dañar el controlador.

Victron Energy B.V. | De Paal 35 | 1351 JG Almere | Países Bajos
Centralita: +31 (0)36 535 97 00 | E-mail: sales@victronenergy.com
www.victronenergy.com



ANEXO 2.5: Especificaciones técnicas interruptor termomagnético

- 1 Brand
- 2 Type
- 3 Rated Current
- 4 Rated Voltage
- 5 Standard Code
- 6 Indicator
- 7 Wiring Diagram

- Nonpolarity
- High Short-Circuit / Breaking Capacity
- Functions: Overload, Short Circuit, Unfrequent Operation and, Anti-reflux Protection
- Rated Voltage: 1200V, Ultimate
- Breaking Capacity : 6kA
- Rated Current: 63A
- Comply with : IEC 60947-2/GB/T 14048.2

Application

ZIBENY BB1 Series PV Mini Circuit Breakers are mainly applied to DC solar combiner box , Controller etc. The main function include overbaoc protection , Anti-reflux protection and short-circuit protection. Scientific design of arc-extinguishing system keep solar system more safe. Max Voltage up to 1200V DC , current up to 63A.

Type Instruction

BB1	-	63	/	MF		4P		25		1200V
Product Code		Max Rated Current		Accessory		Pole		Rated Current		Rated Voltage
PV Miniature Circuit Breakers		63A		MF: MX+OF Shunt Release&Auxiliary Contact MX: Shunt Release OF: Auxiliary Contact Without: BB1-63 Noumenon		1P 2P 3P 4P		3A, 4A, 6A, 10A, 13A, 16A, 20A, 25A, 32A, 40A, 50A, 63A		300V 600V 900V 1200V

Parameter

Electrical Characteristics		BB1-63			
Type	BB1-63				
Comply with	IEC 60947-2/GB/T 14048.2				
Pole		1P	2P	3P	4P
Rated Working Voltage Ue		300V DC	600V DC	900V DC	1200V DC
Max Rated Current	63A				
Rated Current In	3A, 4A, 6A, 10A, 13A, 16A, 20A, 25A, 32A, 40A, 50A, 63A				
Rated Insulated Voltage Ui	1200V DC				
Rated Impulsed Voltage Uimp	6kV				
Ultimate Breaking Capacity Icu	6kA				
Run Breaking Capacity Ics	6kA				
Tripping Type	Thermal Magnetic Type				
Service Life/cycle Operation					
Mechanical	Actual Value	20000			
	Standard Value	8500			
Electrical	Actual Value	1000			
	Standard Value	300			
Installation Environment					
Ingress Protection	All Sides IP40 , Connection Terminal IP20				
Terminal Cross Section	2.5-25mm ²				
Working Temperature	-25°C ~ +70°C				
Storage Temperature	-40°C ~ +85°C				
Resistance to Humidity And Heat	II (when temperature arrived to 55°C, Relative Humidity 95%)				
Resistance to Shock	2.6 IEC60068				
Resistance to Impack	2.27 IEC60068				

ANEXO 2.6: Especificaciones técnicas de conductores eléctricos



TTRF-70 (NLT / NMT)

Usos

En aparatos sujetos a desplazamientos, arrollamientos o vibraciones y para todo tipo de equipos móviles. Servicio liviano NLT (SVTO) y servicio medio pesado NMT (SJTO).

Descripción

Dos, tres o cuatro conductores de cobre electrolítico recocido, flexible, cableado en haz, aislados con PVC, trenzados, relleno de PVC y cubierta exterior común de PVC.

Características

Gran flexibilidad, terminación compacta; resistente a la abrasión, humedad y al aceite. Retardante a la llama.

Marcación

INDECO S.A. TTRF-70(NLT / NMT) <Sección> 300/500 V
Marca a solicitud: <Año> <Nombre Cliente> <Metrado Secuencial>

Calibres

NLT : 18 AWG - 14 AWG.
NMT: 12 AWG - 10 AWG.

Embalaje

En rollos estándar de 100 metros.

Colores

Aislamiento: 2 conductores: blanco y negro.
3 conductores: blanco, negro y rojo.
4 conductores: blanco, negro, rojo y amarillo.

Cubierta Exterior: Gris.



Norma(s) de Fabricación
NTP 370.252
Tensión de servicio
0.3/0.5 kV
Temperatura de operación
70°C

e-mail / ventas@indecocom.pe / marketing@indecocom.pe / web / www.indecocom.pe

- 1 -

Todos los dibujos, diseños, especificaciones, planos y detalles sobre pesos y dimensiones contenidos en la documentación técnica o comercial de INDECO, son puramente indicativos y no serán contractuales para INDECO, ni podrán ser consideradas como que constituyen una representación de la parte de INDECO.



TABLA DE DATOS TECNICOS NLT

CALIBRE	SECCION NOMINAL	N° HILOS	DIAMETRO HILO	ESPEORES		DIAMETRO EXTERIOR	PESO	AMPERAJE*
				AISLAMIENTO	CUBIERTA			
N°xAWG	mm ²		mm	mm	mm	mm	Kg/Km	A
2 x 18	2x0.82	24	0.204	0.6	0.8	6.8	61	10
2 x 16	2x1.31	24	0.255	0.7	0.8	7.8	83	15
2 x 14	2x2.08	39	0.255	0.8	0.9	9.2	120	20
3 x 18	3x0.82	24	0.204	0.6	0.8	7.2	73	7
3 x 16	3x1.31	24	0.255	0.7	0.9	8.5	104	10
3 x 14	3x2.08	39	0.255	0.8	1.1	10.2	155	15
4 x 16	4x1.31	24	0.255	0.7	1	9.4	128	10
4 x 14	4x2.08	39	0.255	0.8	1.1	11.1	186	15

TABLA DE DATOS TECNICOS NMT

CALIBRE	SECCION NOMINAL	N° HILOS	DIAMETRO HILO	ESPEORES		DIAMETRO EXTERIOR	PESO	AMPERAJE*
				AISLAMIENTO	CUBIERTA			
N°xAWG	mm ²		mm	mm	mm	mm	Kg/Km	A
2 x 12	2x3.31	61	0.255	0.8	1.1	10.5	164	25
2 x 10	2x5.26	98	0.255	0.8	1.2	12	226	30
3 x 12	3x3.31	61	0.255	0.8	1.1	11.2	204	20
3 x 10	3x5.26	98	0.255	0.8	1.2	12.7	285	25
4 x 12	4x3.31	61	0.255	0.8	1.2	12.4	251	20
4 x 10	4x5.26	98	0.255	0.8	1.4	14.3	358	25

(*) Temperatura ambiente: 30 °C

e-mail / ventas@indecocom.pe / marketing@indecocom.pe / web / www.indecocom.pe

- 2 -

Todos los dibujos, diseños, especificaciones, planos y detalles sobre pesos y dimensiones contenidos en la documentación técnica o comercial de INDECO, son puramente indicativos y no serán contractuales para INDECO, ni podrán ser consideradas como que constituyen una representación de la parte de INDECO.



ANEXO 3: PRESUPUESTO REFERENCIAL

ANEXO 3.1: Presupuesto referencial Iluminación LED con paneles

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario S/	Precio Total S/
I	SUMINISTRO DE MATERIALES				
1.01	Luminaria LED 65 W 12/24 V	Und.	1400	680.00	952,000.00
1.02	Luminaria LED 50 W 12/24 V	Und.	1164	620.00	721,680.00
1.03	Panel Solar fotovoltaico Monocristalino 380 Wp 24V	Und.	1290	690.00	890,100.00
1.04	Batería Solar estacionaria 225 A-h / 24 V	Und.	1290	1320.00	1,702,800.00
1.05	Controlador de Carga MPPT 100V / 20 A	Und.	700	710.00	497,000.00
1.06	Controlador de Carga MPPT 75V / 15 A	Und.	590	540.00	318,600.00
1.07	Gabinete metálico para exteriores (Bateria, controlador y equipos de protección)	Und.	1290	350.00	451,500.00
1.08	Interruptor Termomagnético 2P 20A	Und.	1290	40.00	51,600.00
1.09	Interruptor Diferencial 30mA, 25A	Und.	1290	95.00	122,550.00
1.10	Interruptor horario	Und.	1290	85.00	109,650.00
1.11	Fusibles, 25A	Und.	1290	20.00	25,800.00
1.12	Pastoral F° G° 1500mm avance horizontal, provisto de abrazaderas F° G°	Und.	1400	95.00	133,000.00
1.13	Pastoral F° G° 1000mm avance horizontal, provisto de abrazaderas F° G°	Und.	1164	85.00	98,940.00
1.14	Conductores de Cu TTRF-70(NLT/NMT) 2x2.5mm ²	m	9030	5.50	49,665.00
1.15	Conductores de Cu TTRF-70(NLT/NMT) 2x4mm ²	m	7740	6.50	50,310.00
1.16	Soporte de Panel Solar fotovoltaico en F° G°	pza	1290	410.00	528,900.00
1.17	Poste metálico A° G° 9m - 127/190mm con placa base 400x400x12 mm	Und.	1290	680.00	877,200.00
1.18	Base de concreto armado 1100x500x500 mm con 4 pernos de anclaje 900mm	Und.	1290	180.00	232,200.00
	Subtotal (I)				7,813,495.00
II	MONTAJE ELECTROMECHANICO				
2.01	Instalación de estructuras y equipos de iluminación solar fotovoltaico (40% de I)	%	40%		3,125,398.00
III	TRANSPORTE				
	Transporte de Materiales y equipos 7% (I)	%	7%		546,944.65
IV	TOTAL COSTO DIRECTO (CD) (I + II + III)				11,485,837.65
V	GASTOS GENERALES (%CD)	%CD	12%		1,378,300.52
VI	UTILIDADES	%CD	10%		1,148,583.77
VII	SUB - TOTAL (SIN IGV)				14,012,721.93
VIII	IGV (18%)	%	18%		2,522,289.95
	COSTO TOTAL (S/)				16,535,011.88



ANEXO 3.2: Presupuesto referencial Iluminación Convencional

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario S/	Precio Total S/
I	SUMINISTRO DE MATERIALES				
	Red Secundaria y Alumbrado publico				
1.01	Luminaria completa con equipo para lámpara 150 W	Und.	1400	240.00	336,000.00
1.02	Luminaria completa con equipo para lámpara 120 W	Und.	1164	220.00	256,080.00
1.03	Lámpara Vapor de sodio alta presión 150 W	Und.	1400	85.00	119,000.00
1.04	Lámpara Vapor de sodio alta presión 120 W	Und.	1164	80.00	93,120.00
1.05	Portafusible unipolar 220v, 5A, provisto con fusible de 1A	Und.	1290	12.00	15,480.00
1.06	Pastoral de tubo de A° G° 38 mmf, int.; 1500mm avance horiz.; 720mm altura, y 15° inclinación	Und.	1400	75.00	105,000.00
1.07	Pastoral de tubo de A° G° 38 mmf, int.; 1000mm avance horiz.; 720mm altura, y 15° inclinación	Und.	1164	65.00	75,660.00
1.08	Abrazadera de A° G° para fijación de pastoral doble en poste, 150 mmø completo	Und.	2580	36.00	92,880.00
1.09	Interruptor horario	Und.	13	85.00	1,096.50
1.10	Ferretería general (pernos, tuercas, arandelas, ect)	Conj.	1290	20.00	25,800.00
1.11	Conductor de cobre N2XOH de 8 mm ² - 3P	m	33311	21.00	699,534.36
1.12	Conductor de cobre N2XOH de 12 mm ² - 3P	m	19350	16.00	309,600.00
1.13	Caja de registro de concreto 0.40x0.40 m	m	1290	80.00	103,200.00
1.14	Poste de concreto armado de 11/300	Und.	1290	760.00	980,400.00
1.15	Puesta a Tierra RS	Jgo.	52	320.00	16,640.00
	Red Primaria y SED				
1.16	Transformador 3Φ 50kVA	Und.	13	18500.00	240,500.00
1.17	Equipos de protección y maniobra (seccionadores, pararrayos, accesorios)	Jgo.	48	680.00	32,640.00
1.18	Tablero de distribución completa para transformador 50kVA	Jgo.	13	4200.00	54,600.00
1.19	Armado tipo I para red primaria	Jgo.	103	880.00	90,640.00
1.2	Armado tipo II para SED	Jgo.	13	1470.00	19,110.00
1.21	Accesorios para postes y crucetas	Conj.	116	180.00	20,880.00
1.22	Accesorios para conductores	Conj.	116	75.00	8,700.00
1.23	Cable NYY Triplex para fases 3x50mm ²	m	123.5	42.00	5,187.00
1.24	Conductor de aleación de aluminio de 35 mm2	m	18207.27	2.40	43,697.45
1.25	Cable de energía N2XSY 3-1x50mm2, 23/35 kV	m	715	35.00	25,025.00
1.26	Retenida para red primaria	Jgo.	18	160.00	2,880.00
1.27	Puesta a Tierra RP	Jgo.	36	380.00	13,680.00



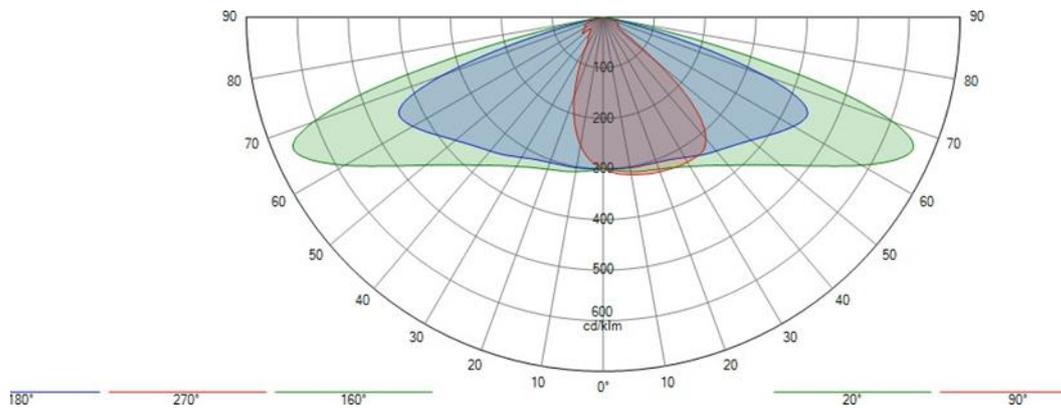
Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	
				Unitario S/	Precio Total S/
1.28	Caja de concreto armado para conductor subterráneo 100x100x120cm	Conj.	10	450.00	4,500.00
1.29	Ducto de concreto 4 vías	Und.	679	35.00	23,773.75
1.30	Poste de concreto armado de 12/2000 (incluye perilla)	Und.	86	860.00	73,960.00
1.31	Poste de concreto armado de 12/3000 (incluye perilla)	Und.	30	960.00	28,800.00
Subtotal (I)					3,918,064.06
II MONTAJE ELECTROMECHANICO					
2.01	Excavación de terreno, zanja 40x50cm, relleno y compactación	m3	6134.054	110.00	674,745.94
2.02	lzaje de poste y montaje de quipos y materiales (40% de I)	%	40%		1,567,225.62
III TRANSPORTE					
	Transporte de Materiales y equipos 7% (I)	%	7%		274,264.48
IV TOTAL COSTO DIRECTO (CD) (I + II + III)					6,434,300.11
V	GASTOS GENERALES (%CD)	%CD	12%		772,116.01
VI	UTILIDADES	%CD	10%		643,430.01
VII SUB - TOTAL (SIN IGV)					7,849,846.13
VIII	IGV (18%)	%	18%		1,412,972.30
COSTO TOTAL (S/)					9,262,818.43

ANEXO 4: RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS DE LA AV. CIRCUNVALACIÓN II.

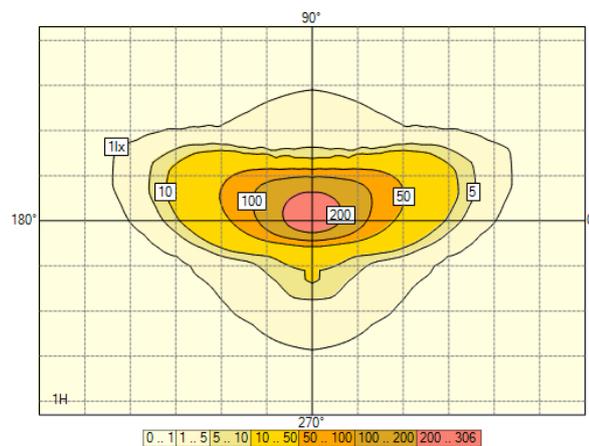
1. Documentos fotométricos

3.1. BRP392_LED80_CW_50W_DM_SD_12-5M_911001815702

Diagrama Polar/Cartesiano



Isolux



Curva de utilización

