

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**  
**FACULTAD DE TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD INDUSTRIAL**



**“SISTEMA AUTONOMO DE ALUMBRADO PÚBLICO FOTOVOLTAICO  
CON LUMINARIA TIPO LED PARA EL MUNICIPIO DE ESCOMA”**

Proyecto de grado para la obtención del Grado de Licenciatura

**POR : UNIV. CARLOS IVAN YANARICO VILLCA**

**TUTOR : LIC. OSWALDO J. TIÑINI APAZA**

**LA PAZ – BOLIVIA**  
**Marzo 2020**

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**  
**FACULTAD DE TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD INDUSTRIAL**



**SISTEMA AUTONOMO DE ALUMBRADO PÚBLICO FOTOVOLTAICO  
CON LUMINARIA TIPO LED PARA EL MUNICIPIO DE ESCOMA**

TRIBUNAL : M.SC. LIC. CARLOS B. MORALES RIOS  
T.M. GROVER ESTEVEZ CESPEDES  
ING. EUGENIO ZENTENO O.

DECANO: ING. MARCO ANTONIO ROMAY OSSIO  
VICE – DECANO: ING. MS. C. LUIS RICHARD MARQUEZ GONZALES  
DIRECTOR: LIC. EDUARDO QUINTEROS RODRIGUEZ.  
POSTULANTE: UNIV. CARLOS IVAN YANARICO VILLCA  
TUTOR: LIC. OSWALDO J. TIÑINI APAZA

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**  
**FACULTAD DE TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD INDUSTRIAL**

Proyecto de grado:

**SISTEMA AUTONOMO DE ALUMBRADO PÚBLICO FOTOVOLTAICO  
CON LUMINARIA TIPO LED PARA EL MUNICIPIO DE ESCOMA**

Presentado por: Univ. Carlos Ivan Yanarico Villca

Para optar el grado académico de Licenciado en Electricidad

Nota numeral: .....

Nota literal: .....

Ha sido.....

Director de carrera: Lic. Eduardo Quinteros Rodriguez

Tutor: Lic. Oswaldo J. Tiñini Apaza

Tribunal: M.Sc. Lic. Carlos B. Morales Rios

Tribunal: T.M. Grover Estevez Cespedes

Tribunal: Ing. Eugenio Zenteno Omonte

## **DEDICATORIA**

Este proyecto lo dedico a dios, a mis padres, hermanas, abuelos y amigos, a los docentes por su constante aliento, amor y comprensión quienes hicieron posible este trabajo. Reciban mi gratitud y amor.

Gracias.

C. I.Y. V.

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi eterno agradecimiento a todas y cada una de las personas que, de una manera directa o indirecta, han intervenido en la realización de este proyecto en especial a mi familia por el constante apoyo incondicional. Mis sinceros agradecimientos a la Facultad De Tecnología de la U.M.S.A. a la carrera de electricidad, a los docentes Por haber colaborado con sus conocimientos impartidos en la trayectoria de la carrera. A mis queridos compañeros quienes con su amistad me apoyaron de gran manera moral de seguir adelante, estudiando para ser cada día mejores profesionales.

**“MUCHAS GRACIAS”**

## INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA .....	I
AGRADECIMIENTO .....	II
INDECE CONTENIDO.....	III
LISTA DE FIGURAS .....	VIII
LISTA DE TABLAS .....	X
RESUMEN.....	XI

## CAPITULO I

1. ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1. Introducción .....	2
1.2. Antecedentes .....	3
1.2.1. Tecnología Led.....	4
1.3. Planteamiento del problema.....	4
1.4. Objetivo.....	6
1.4.1. Objetivo general .....	6
1.4.2. Objetivo específico.....	6
1.5. Justificación.....	7
1.5.1. Justificación económica .....	7
1.5.2. Justificación social .....	7
1.5.3. Justificación ambiental.....	7
1.5.4. Justificación técnica .....	8
1.6. Alcances y límites .....	8
1.7. Ubicación del proyecto .....	8

## CAPITULO II

<b>2. FUNDAMENTO TEORICO .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1. Formas de generación de energía eléctrica fotovoltaico .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1.1. Fuentes alternativas de generación.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2. Energía solar en Bolivia.....</b>	<b>13</b>
<b>2.3. Potencial solar .....</b>	<b>13</b>
<b>2.4. La radiación solar.....</b>	<b>15</b>
<b>2.5. Irradiación solar .....</b>	<b>15</b>
<b>2.6. Ventajas e inconvenientes de las instalaciones fotovoltaicas .....</b>	<b>17</b>
<b>2.7. Componentes de un sistema fotovoltaico.....</b>	<b>18</b>
<b>2.7.1. Modulo fotovoltaico.....</b>	<b>18</b>
<b>2.7.1.1. Principio de funcionamiento .....</b>	<b>20</b>
<b>2.7.1.2. Punto de máxima potencia .....</b>	<b>22</b>
<b>2.7.1.3. Eficiencia en la conversión de energía.....</b>	<b>23</b>
<b>2.7.2. Baterías de acumulación .....</b>	<b>25</b>
<b>2.7.2.1. Concepto y principio de operación .....</b>	<b>25</b>
<b>2.7.2.2. Requerimientos de la batería como fuente de alimentación.....</b>	<b>26</b>
<b>2.7.3. Regulador de carga.....</b>	<b>27</b>
<b>2.7.3.1. Particularidades sobre los reguladores de carga.....</b>	<b>27</b>
<b>2.7.4. Inversor .....</b>	<b>29</b>
<b>2.7.4.1. Indicaciones normativas.....</b>	<b>29</b>
<b>2.7.4.2. Recomendaciones para la selección de un inversor .....</b>	<b>30</b>
<b>2.7.5. Led (Light Emitting Diode) .....</b>	<b>31</b>
<b>2.7.5.1. Lámpara eficiente LED .....</b>	<b>32</b>
<b>2.7.5.2. Magnitudes y unidades luminosas .....</b>	<b>32</b>
<b>2.7.5.3. Características de los LED .....</b>	<b>34</b>
<b>2.7.5.4. Componentes de luminarias LED .....</b>	<b>35</b>
<b>2.7.5.5. Ventaja de utilizar LED .....</b>	<b>38</b>

<b>2.8. Principales tipos de lámpara.....</b>	<b>39</b>
<b>2.8.1. Lámparas incandescentes .....</b>	<b>39</b>
<b>2.8.2. Lámparas halógenas .....</b>	<b>40</b>
<b>2.8.3. Sodio de baja presión .....</b>	<b>40</b>
<b>2.8.4. Sodio de alta presión .....</b>	<b>41</b>
<b>2.8.5. Lámparas de mercurio de alta presión .....</b>	<b>42</b>
<b>2.8.6. Metal halide.....</b>	<b>42</b>
<b>2.8.7. Luz mixta .....</b>	<b>42</b>

### **CAPITULO III**

<b>3. MARCO PRÁCTICO (INGENIERIA DEL PROYECTO).....</b>	<b>44</b>
<b>3.1. Selección del tipo de lámpara .....</b>	<b>45</b>
<b>3.1.1. Estudio del área a iluminar.....</b>	<b>45</b>
<b>3.1.1.1. Clases de iluminación para diferentes tipos de vías (según alumbrado Público).....</b>	<b>46</b>
<b>3.1.2. Estudio de los tipos de lámparas utilizados en sistemas fotovoltaicos .....</b>	<b>47</b>
<b>3.2. Cuadro comparativo de los tipos de lámparas estudiados.....</b>	<b>48</b>
<b>3.3. Requisitos Básicos de una Luminaria .....</b>	<b>49</b>
<b>3.3.1. Requisitos Fotométricos.....</b>	<b>49</b>
<b>3.3.2. Requisitos mecánicos y eléctricos.....</b>	<b>50</b>
<b>3.3.3. Requisitos estéticos .....</b>	<b>50</b>
<b>3.4. Clasificación de luminarias por condiciones operativas bajo normas europeas .....</b>	<b>50</b>
<b>3.4.1. Clasificación CIE .....</b>	<b>51</b>
<b>3.4.2. Disposición de luminarias en vías públicas .....</b>	<b>55</b>
<b>3.5. Método punto por punto.....</b>	<b>58</b>
<b>3.5.1. Componente directo en un punto .....</b>	<b>59</b>
<b>3.5.2. Fuente de luz lineal de longitud infinita.....</b>	<b>60</b>



<b>3.5.3.</b> Calculo de las iluminancias horizontales empleando curvas isolux .....	61
<b>3.5.4.</b> El incremento del Umbral ( $T_i$ ).....	62
<b>3.5.5.</b> Coeficiente del factor de utilización de la vía.....	63
<b>3.5.6.</b> Aplicación del método punto por punto para la iluminación público.....	65
<b>3.5.7.</b> Condiciones de una buena iluminación.....	65
<b>3.5.8.</b> Nivel de iluminancia .....	65
<b>3.5.9.</b> Iluminancia en un punto.....	66
<b>3.5.10.</b> Nivel de luminancia .....	67
<b>3.5.11.</b> Coeficiente de uniformidad.....	68
<b>3.5.12.</b> Deslumbramiento .....	69
<b>3.5.13.</b> Coeficiente de iluminación en los alrededores ( $SR$ ).....	69
<b>3.6.</b> Calculo para determinar la altura de montaje y distancia entre postes por medio del método punto por punto .....	70
<b>3.6.1.</b> Características principales de la luminaria led.....	71
<b>3.6.1.1.</b> Nivel de protección .....	75
<b>3.7.</b> Determinar la carga instalada.....	75
<b>3.8.</b> Dimensionamiento del panel solar fotovoltaico.....	81
<b>3.8.1.</b> Recopilación de información de las características geográficas y meteorológicas de la zona .....	81
<b>3.8.2.</b> Cuantificación de la necesidad diaria de energía tiempo de potencia nominal ( $T_{PN}$ ) .....	83
<b>3.8.3.</b> Potencia requerida ( $P_{REQ}$ ) .....	86
<b>3.9.</b> Dimensionamiento de la batería.....	87
<b>3.10.</b> Determinación del número de reguladores de carga .....	91
<b>3.11.</b> Diseño de poste .....	91
<b>3.12.</b> Cálculo y selección del cableado .....	93
<b>3.13.</b> Elementos de protección del sistema .....	97
<b>3.13.1.</b> Estudio de protecciones .....	98
<b>3.13.2.</b> Sistema de puesta a tierra.....	99

<b>3.14.</b> Normas de seguridad.....	102
<b>3.15.</b> Especificaciones de instalación de los paneles .....	103
<b>3.16.</b> Diagrama y planos.....	104
<b>3.16.1.</b> Diagrama general del sistema .....	104
<b>3.16.2.</b> Plano general de la instalación .....	105
<b>3.16.3.</b> Disposiciones de luminaria con nivel de iluminancia.....	106
<b>3.16.4.</b> Esquema operacional del sistema .....	107

#### **CAPITULO IV**

<b>4.</b> Costos y Presupuesto .....	108
<b>4.1.</b> Estudio económico.....	109
<b>4.2.</b> Estudio costo beneficio del alumbrado público convencional o tradicional.....	110

#### **CAPITULO V**

<b>5.</b> MARCO CONCLUSIVO .....	115
<b>5.1</b> Conclusiones .....	116
<b>5.2.</b> Recomendaciones.....	117
<b>5.3.</b> Bibliografía .....	118
<b>5.4.</b> Anexos .....	121

## LISTA DE FIGURAS

1. Imagen satelital del municipio de Escoma.....	9
2. Esquema conceptual.....	11
3. Fuentes alterativas de generación.....	12
4. Mapa de Radiación Solar Media Anual para Bolivia (kWh/m <sup>2</sup> /día).....	14
5. Irradiación solar en la parte superior de la atmósfera .....	16
6. Panel Monocristalinas .....	19
7. Panel Policristalinas .....	19
8. Estructura cristalina del silicio .....	21
9. Formación de la región de carga de espacio en una ensambladura del p-n de difusión de electrones de agujeros .....	22
10. Influencia de la irradiación tensión-corriente de una celda solar.....	23
11. Influencia de la irradiación en una celda fotovoltaica.....	24
12. Esquema de una batería.....	25
13. Regulador en serie.....	28
14. Regulador en paralelo.....	29
15. Esquema básico de un led .....	32
16. Componentes de la luminaria LED .....	36
17. Estructuras de poste.....	38
18. Lámpara incandescente convencional.....	39
19. Lámpara de sodio de alta presión.....	41
20. Estado sólido LED .....	49
21. Curva polar de intensidad en el plano que contiene la intensidad luminosa máxima que indica el ángulo utilizado para la determinación del alcance .....	52
22. Apertura o dispersión .....	53
23. Diagrama de isocandela relativo en proyección acimutal (sinusoidal), que indica los ángulos $Y_{max}$ e $Y_{90}$ utilizados para la determinación de la apertura y alcance .....	54

<b>24.</b> Se muestra 3 grados de alcance y apertura definidos por la CIE. Y h es altura de montaje de la luminaria .....	54
<b>25.</b> Tramos rectos de vías con una única calzada.....	55
<b>26.</b> Central doble brazo .....	56
<b>27.</b> Bilateral Alternada .....	57
<b>28.</b> Bilateral Opuesta .....	58
<b>29.</b> En el plano horizontal .....	59
<b>30.</b> En el plano vertical.....	60
<b>31.</b> Plano de una fuente de luz lineal infinita .....	61
<b>32.</b> Diagrama isolux sobre un plano.....	62
<b>33.</b> Deslumbramiento perturbador.....	62
<b>34.</b> Coeficiente o factor de utilización .....	63
<b>35.</b> Coeficiente del factor de utilización.....	64
<b>36.</b> Iluminancia en el punto P.....	66
<b>37.</b> Iluminancia percibida por el observador.....	67
<b>38.</b> Descripción de la luminaria led ofertada.....	71
<b>39.</b> Especificaciones de la luminaria .....	73
<b>40.</b> Ventajas y características de la luminaria .....	73
<b>41.</b> Diagrama de iluminancia .....	74
<b>42.</b> Curva de distribución .....	74
<b>43.</b> Modelo mecánico de poste.....	92
<b>44.</b> Dimensionamiento del alumbrado público .....	93
<b>45.</b> Partes de la puesta a tierra.....	99
<b>46.</b> Espiral de cable desnudo alrededor del electrodo.....	100
<b>47.</b> Tratamiento de la tierra mas sus aditivos químicos.....	100
<b>48.</b> Conexión de puesta a tierra a la estructura.....	102
<b>49.</b> Inclinación dirección establecida de los paneles.....	103
<b>50.</b> Esquema operacional del sistema. Fuente: Elaborado por [Adapta, 2010].....	107

## LISTA DE TABLAS

1. Clasificación EN-60598 por grado de protección contra polvo.....	51
2. Clasificación EN-6098 por grado de protección contra agua .....	51
3. Tipo de deslumbramiento.....	69
4. Especificaciones técnicas de iluminación .....	70
5. Radiación solar de Escoma .....	82
6. Temperatura .....	88
7. Características de baterías solares .....	90
8. Porcentaje de regulación máximo y recomendado.....	94
9. Sección de conductores .....	97
10. Inclinaciones optimas de paneles fotovoltaicos para diferentes lugares de Bolivia, dato proporcionado por la empresa ECOENERGIA FALK S.R.L.....	103

## RESUMEN

Elaborar el sistema alternativo y factible para proyectar un sistema de alumbrado público, el conocimiento y uso de celdas fotovoltaicas en un sistema de tipo aislado, teniendo conciencia de no provocar daños al medio ambiente. El objetivo de este trabajo es desarrollar un sistema totalmente autónomo de la red eléctrica utilizando una fuente de energía alterna, de modo que se utilizará panel solar para convertir la luz solar en corriente eléctrica, la cual es almacenada en una batería que en la noche provee de energía necesaria para generar luz. El panel solar, batería y la lámpara se implementará un controlador que ejerce las funciones de: Encendido y apagado de la luminaria led, carga y descarga de la batería, un prototipo que sea capaz de manejar cargas de 12V DC.

Este sistema de alumbrado público fotovoltaico se realiza con luminarias de alta eficiencia (diodo emisor de luz LED) realizando las dimensiones de: Altura de montaje e distancia entre luminarias, el cálculo de la carga instalada. Este presente proyecto de grado es viable y sustentable ya que haciendo el estudio financiero se amortizaría en un lapso de tiempo aceptable una vez que la inversión sea cubierta los siguientes años serian de utilidad, tomando en cuenta que el sistema no requiere de muchos cambios de accesorios al momento de mantenimiento comparado con un sistema convencional de alumbrado público.

Este trabajo analiza el potencial de la radiación solar existente en la población de Escoma demostrando que puede instalarse luminarias solares con estos propósitos, y de esta forma aminorar la falta de alumbrado público. Además se muestra el valor de la radiación solar incidente, así como la posibilidad de introducción de estos sistemas a partir del estudio de su viabilidad para su implementación.

**Palabra clave:** Energía Alternativa, Alumbrado público, radiación solar, luminaria tipo led.

## SUMMARY

Elaborate the system alternative and feasible to project a system of public lighting, the knowledge and use of photovoltaic cells in an isolated system, being aware of not causing damage to the environment. The objective of this work is to develop a totally autonomous system of the electrical network using an alternative energy source, so that solar panel will be used to convert sunlight into electric current, which is stored in a battery that provides the energy needed to generate light at night. The solar panel, battery and lamp will be implemented a controller that exercises the functions of: turning on and off the LED luminaires, charging and discharging the battery, a prototype that is capable of handling loads of 12V DC.

This system of photovoltaic street lighting is made with high efficiency luminaires (LED light emitting diode) making the dimensions of: installation height and distance between luminaires, the calculation of the installed load. This present project of degree is viable and sustainable since doing the financial study would be amortized in an acceptable time lapse once the investment is covered the following years would be useful, taking into account that the system does not require many changes of accessories to the maintenance time compared to a conventional public lighting system.

This work analyzes the potential of the solar radiation existing in the population of **Escoma** showing that solar luminaires can be installed for these purposes, and in this way reduces the lack of public lighting. In addition, the value of the incident solar radiation is shown, as well as the possibility of introducing these systems based on the study of their feasibility for their implementation.

**Keyword:** Alternative Energy, Public lighting, solar radiation, LED type luminaire.



---

**CAPITULO 1**

**ASPECTOS GENERALES**



## **1.1. Introducción.**

La tecnología fotovoltaica desempeña un papel importante en el proceso de electrificación de las zonas rurales para países en vías de desarrollo, siendo una forma de aprovechar la radiación solar y generar electricidad, energía renovable y respetuosa con el medio ambiente, a diferencia de la energía producida de los combustibles fósiles. Gracias a esta tecnología se puede disponer de electricidad en lugares alejados de la red de distribución eléctrica, básicamente para la electrificación rural, destinada a servicios como la iluminación pública de calles y rutas de transportes. Con la alimentación fotovoltaica de luminarias se evita la extensión de la red desde las líneas de media tensión hasta las poblaciones alejadas. También evita la instalación de grupos electrógenos con los inconvenientes que presenta esta opción como son: el suministro y consumo de diesel, altos niveles de ruido, emisión de contaminantes a la atmósfera etc.

La característica del sistema fotovoltaico es la captación de energía solar mediante paneles solares fotovoltaicos y almacenamiento de la energía eléctrica generada por los paneles en baterías o acumuladores.

Existen centrales eléctricas fotovoltaicas (en las que la energía eléctrica generada se entrega directamente a la red eléctrica, como en otra central convencional de generación eléctrica) y otros sistemas fotovoltaicos instalados en casas, edificios hoteles en los que la energía generada se invierte en el mismo autoconsumo.

## **1.2. Antecedentes.**

En el año 1990 el señor Antonio Luciano de Caires T. presento un trabajo en **Venezuela** titulado “diseño y construcción de un sistema de iluminación con alimentación autónoma (fotovoltaica)”, el cual consistió en la iluminación de un estacionamiento público utilizando como fuente de alimentación un panel solar de 120W de potencia nominal. Siendo totalmente independiente de la red eléctrica. El trabajo consiste en iluminar con 10 lámparas fluorescentes de 12VDC, cuyo encendido está controlado por temporizadores.

En el año 2003 Sr. Carlos L. Castillo presento un trabajo titulado: propuesta de un sistema de alumbrado público solar, como alternativa a la solución de las pérdidas técnica y no técnica de C.A. en caracas **Venezuela**” en el cual estudio la factibilidad de utilizar la alternativa de alumbrado público solar en reemplazo de lo convencional con la finalidad de minimizar las pérdidas de suministro de energía.

El sistema de alumbrado público es un servicio que tiene como finalidad la iluminación de calles, plazas, parques y jardines; para diversas actividades en centros urbanos y rurales. Pero el objetivo principal del sistema de alumbrado público es la seguridad y generar el bienestar de todos los habitantes de las comunidades. Es innegable que aún en la actualidad existan entidades marginadas en Bolivia y su abasto de energía eléctrica, en especial el servicio de alumbrado público, no existe o es insuficiente para satisfacer la demanda.

En Bolivia el año 2014 se implemento en algunas regiones telecentros con 5 computadoras y un televisor e impresora alimentados con alimentación autónoma fotovoltaica. De ahí la idea de proyectar un sistema de iluminación autónoma de alumbrado público con energía fotovoltaica que además solo se encienda en horario nocturno.

### **1.2.1. Tecnología led.**

Sus siglas "Diodos Emisor de Luz" también conocido como LED (acrónimo del inglés de Light-Emitting Diodo) es un dispositivo semiconductor (diodo) que emite luz incoherente de espectro reducido cuando se polariza de forma directa la unión PN del mismo y circula por él una corriente eléctrica. Este fenómeno es una forma de electroluminiscencia. El color, depende del material semiconductor empleado en la construcción del diodo y puede variar desde el ultravioleta, pasando por el visible, hasta el infrarrojo. Los diodos emisores de luz que emiten luz ultravioleta también reciben el nombre de UV LED (UltraViolet Light-Emitting Diode) y los que emiten luz infrarroja se llaman IRED (Infra-Red Emitting Diode). Fueron inventados por Oleg Lósev. La vida útil de los Bombillos Led varía de acuerdo al material con el cual este fabricado, temperatura a la que este expuesto, humedad, etc., sin embargo podemos establecer un período de trabajo de **50.000 a 100.000 horas** continuas.

### **1.3. Planteamiento del problema.**

La prestación del servicio de alumbrado es una de las tareas fundamentales de los Gobiernos Municipales; sin embargo, su instalación, operación, actualización, mantenimiento y costos, constituyen a menudo un problema técnico y económico para las alcaldías es por tal razón que la energía fotovoltaica desempeña una alternativa importante en el proceso de electrificación de las zonas rurales para este país en vía del desarrollo, este proyecto de un sistema de iluminación autónomo para espacios exteriores es decir para aéreas públicas como: Plazas, calles, jardines o parques con la finalidad e importancia de proveer servicios público de luz a peatones y vehículos que transiten en ella permitiendo la actividad nocturna. Este sistema de iluminación será por medio de LED cuya fuente de iluminación será por medio de un panel solar, una batería, un circuito regulador de la carga de batería. Describiendo la problemática:

- Deficiencia de iluminación, por tal razón surge la necesidad de garantizar los niveles de iluminación adecuados en las zonas que actualmente lo requieren, para garantizar una visualización adecuada del entorno.
  
- La necesidad de iluminación en las zonas oscuras camino a la universidad, hospital y colegio nocturno.
  
- Por falta de alumbrado público hay inseguridad en la población de Escoma.

## **1.4. Objetivos.**

### **1.4.1. Objetivo general.**

Elaborar un sistema autónomo de alumbrado público de tecnología fotovoltaico y luminarias tipo LED dando mayor seguridad peatonal y tráfico vehicular en el municipio de Escoma.

### **1.4.2. Objetivos específicos.**

- Realizar un estudio de viabilidad del sistema autónomo de alumbrado público fotovoltaico en el municipio de Escoma.
- Establecer la capacidad de luminaria que se utilizará con capacidad de operar al aire libre y el dimensionamiento de los postes.
- Realizar los cálculos energéticos para determinar el tipo de panel solar necesario y luego la capacidad de la batería necesaria.
- Dimensionar un regulador de carga sin inversor incluido para que el sistema opere de forma autónoma.

## **1.5. Justificación.**

### **1.5.1. Justificación económica.**

Esta tecnología es una herramienta cada vez más poderosa para acortar la brecha digital en comparación con las áreas urbanas. Este sistema fotovoltaico para alumbrado público aportará al crecimiento económico y será un instrumento fundamental para lograr el desarrollo de la población y reducir el déficit energético que tiene el municipio de Escoma.

### **1.5.2. Justificación social.**

Las razones que impulsan y motivan a llevar este proyecto tiene una visión social en la necesidad importante de que el municipio de Escoma cuente con este sistema de alumbrado público con celdas fotovoltaicos, considerando que este sistema requiere de menos mantenimientos que instalaciones convencionales, y que además no es necesario estar interconectado a la red de distribución eléctrica, además indicar que ayudará a la seguridad de la población y su desarrollo.

### **1.5.3. Justificación ambiental.**

Con este proyecto se pretende incursionar en el mundo de la energía solar por ser una fuente limpia cuyo impacto ambiental es mínimo. Existe una opinión mayoritaria con respecto a que no contamina el ambiente, sin embargo se han hecho estudios tomando en cuenta que en algunos casos el sistema utiliza un banco de batería y que una vez que estas cumplan su tiempo de vida pasan a ser residuos contaminantes, fuera de esto, un sistema de energía solar no proporciona ningún impacto negativo al ambiente, y por ello suele recibir el calificativo de energía ecológica.

#### **1.5.4. Justificación técnico.**

En general la inversión de este sistema se reduce a la instalación con todo sus elementos y el cambio de la batería cada 3 a 8 años aproximadamente, no tiene partes móviles porque prácticamente es inalterable con el paso del tiempo de la energía que recibirán los paneles serán totalmente gratis, el mantenimiento de panel es relativamente fácil de realizar agua y esponja.

#### **1.6. Alcances y limites.**

Como cualquiera de los sistemas fotovoltaicos están limitados a las características de la radiación solar en las zonas donde se va instalar. En caso de regulador será de baja capacidad acorde al tipo y numero de carga que maneje.

Los alcances que tendrá este proyecto será que los habitantes podrán hacer una vida social nocturna, también va contribuir a la seguridad de la población y es conveniente para las personas que viajan, se emplea nueva tecnología más eficiente, un sistema de menor dependencia de mantenimientos, fomento de actividades en espacios exteriores y seguridad de las zonas rurales, para medios de transporte.

#### **1.7. Ubicación del proyecto.**

El municipio Escoma, se encuentra entre las coordenadas geodésicas:

- 67° 45' - 68° 00' de longitud Oeste.
- 15° 40' – 17° 10' de latitud Sud.

El municipio Escoma está ubicada entre los paralelos **15° 40'**, Latitud Sur con relación a la línea del Ecuador y entre los paralelos **69° 08'**, Longitud Oeste del meridiano de Greenwich.

Los límites de la quinta sección de la provincia Camacho del departamento de la Paz son: al norte con la primera sección Puerto Acosta de la provincia Camacho; al sur con la tercera sección Puerto Carabuco de la provincia Camacho y el lago Titicaca; al oeste con la primera sección Puerto Acosta de la provincia Camacho y el lago Titicaca y al este con la primera sección Puerto Acosta, segunda sección Mocomoco y tercera sección Puerto Carabuco de la provincia Camacho.

El Municipio se encuentra en un rango altitudinal de 3,600 m.s.n.m. a los 3,870 m.s.n.m. datos obtenidos del **Instituto Geográfico Militar (I.G.M.)**.



**Fig. 1** Imagen satelital del municipio de Escoma





---

## CAPÍTULO 2

### FUNDAMENTO TEORICO

## 2.1. Formas de generación de energía eléctrica fotovoltaica.

Las principales fuentes de generación de energía eléctrica son la termoeléctrica y la hidroeléctrica con un 90% y una de las alternativas más interesantes y que pueden aplicarse en el país para la generación de energía eléctrica es la transformación de la luz solar; ya que es una fuente renovable, sin costo y de proceso simple.

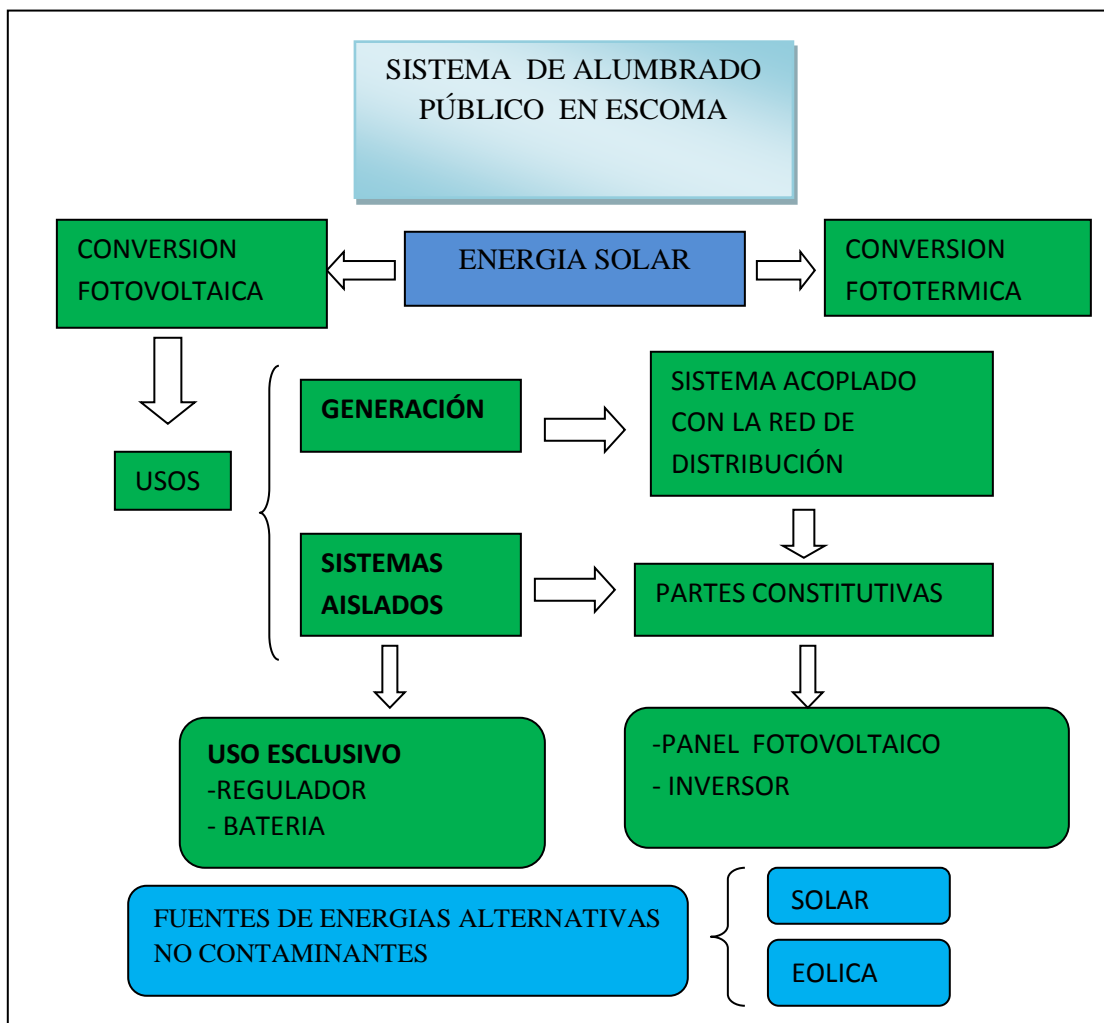


FIG.2 Esquema conceptual. [1]

### 2.1.1 Fuentes alternativas de generación.

En esta figura se representa las fuentes alternativas de generación factibles para la generación de energía eléctrica limpia haciéndose notar la dependencia de una turbina y de un alternador. En la mayoría de las alternativas, lo que implica la construcción de una importante infraestructura. En cambio el proceso más sencillo para la generación de electricidad es la energía solar en específico la conversión fotovoltaica.



Fig.3. fuentes alterativas de generación. [2]

## **2.2 Energía solar en Bolivia.**

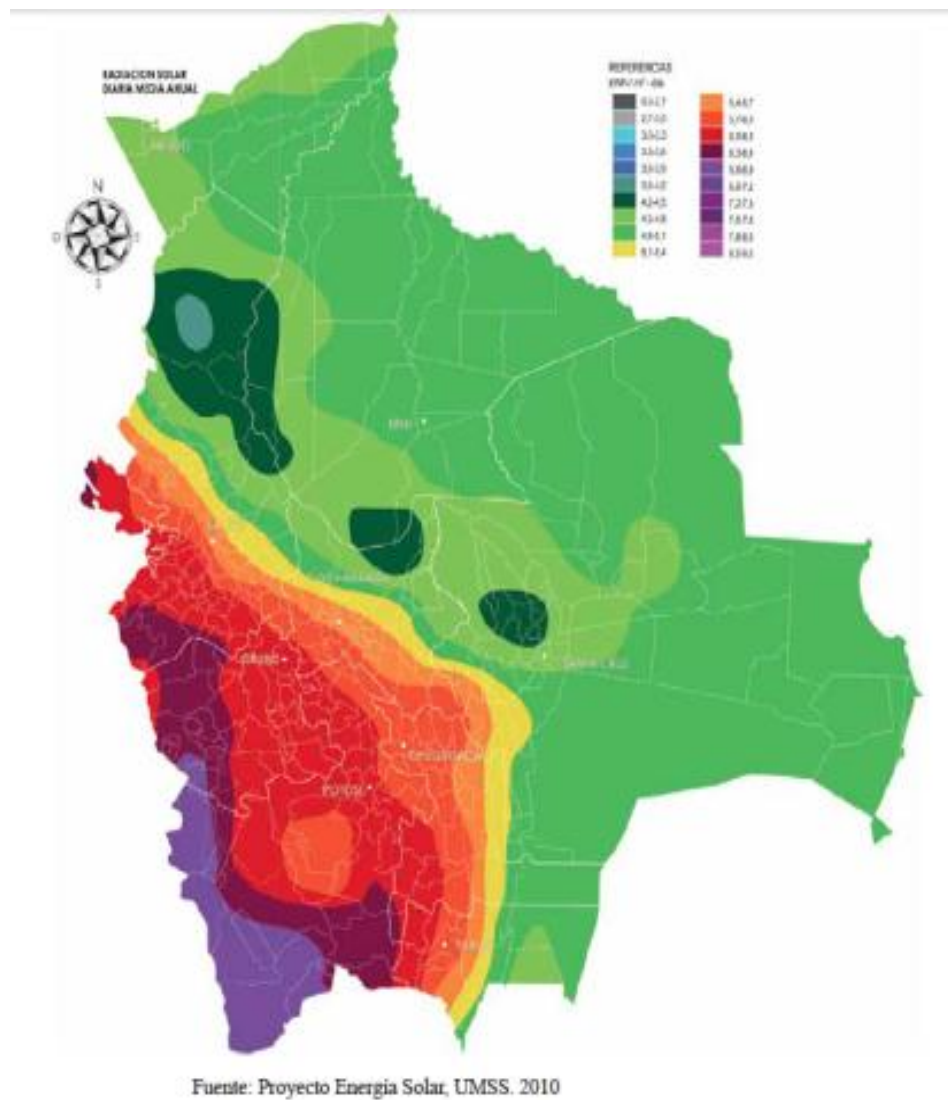
En la actualidad la electricidad en Bolivia proviene de centrales hidroeléctricas eólicas solares de (29,7%) y centrales termoeléctricas (70,8%). El balance energético de generación bruta en el año 2015 fue positivo con una generación del Sistema Interconectado Nacional (SIN) de 8.473,8 GWh y un consumo nacional de 7.353,73 GWh. El potencial hidroeléctrico es de 42.000 MW que pueden ser exportados a los países vecinos.

Las dos terceras partes de Bolivia, cuya posición latitudinal está entre los paralelos 9° 40'S y 22° 53' O, se encuentran en la franja de mayor radiación solar. Esta situación hace que cuente con uno de los mayores niveles de intensidad solar del continente. La incidencia solar en el territorio nacional alcanza los promedios anuales de 5,4 kWh/m<sup>2</sup>día de intensidad y de 7 h/día de insolación efectiva.

## **2.3 Potencial solar.**

El año 2010 (CEDLA, 2010), el Proyecto de Energía Solar de la Universidad Mayor de San Simón (UMSS) en Cochabamba actualizó la información sobre energía solar, presentando un mapa de radiación, el mismo que fue preparado usando datos meteorológicos satelitales y validado localmente, con mediciones puntuales, lo cual ha permitido ajustar los datos globales a la especificidad regional. En Bolivia las regiones del Altiplano y de los Valles interandinos reciben una alta tasa de radiación solar; entre 5 y 6 kWh/m<sup>2</sup>día, dependiendo de la época del año. En la zona de los Llanos la tasa de radiación media se sitúa entre 4,5 y 5 kWh/m<sup>2</sup>día. Los altos valores de radiación solar en Bolivia se deben a la posición geográfica que tiene su territorio, el cual se encuentra en la zona tropical del Sur, entre los paralelos 11° y 22° Sur. Por ello la tasa de radiación entre la época de invierno y verano no representa diferencias que sobrepasen el 25%, a diferencia de otras regiones del globo que se encuentran en latitudes mayores. La

presencia de la cordillera de los Andes modifica en alguna medida la radiación solar, beneficiando con una mayor tasa a las zonas altas como el Altiplano. Los altos niveles de radiación solar, hacen que el aprovechamiento de esta fuente de energía sea posible de realizar en prácticamente todo el territorio nacional.



**Fig. 4.** Mapa de Radiación Solar Media Anual para Bolivia (kWh/m<sup>2</sup>/día). [3]

## **2.4. La radiación solar.**

Es el flujo de energía que recibimos del Sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (luz visible, infrarroja y ultravioleta). Aproximadamente la mitad de las que recibimos, comprendidas entre  $0.4\mu\text{m}$  y  $0.7\mu\text{m}$ , pueden ser detectadas por el ojo humano, constituyendo lo que conocemos como luz visible. De la otra mitad, la mayoría se sitúa en la parte infrarroja del espectro y una pequeña parte en la ultravioleta. La porción de esta radiación que no es absorbida por la atmósfera, es la que produce quemaduras en la piel a la gente que se expone muchas horas al sol sin protección. La radiación solar se mide normalmente con un instrumento denominado piranómetro. La utilización de la energía solar es factible en poco más del 97 por ciento del territorio nacional, con excepción de algunas zonas que constituyen menos del 3 por ciento de la superficie, sostiene el estudio denominado (Rol e impacto socioeconómicos de las energías renovables del área rural de Bolivia). “En Bolivia las regiones del altiplano y de los valles interandinos reciben una alta tasa de radiación solar, entre  $5$  y  $6 \text{ kWh/m}^2$  día (kilowatt-hora por metro cuadrado al día), dependiendo de la época del año. En la zona de los llanos la tasa de radiación media se sitúa entre  $4,5$  y  $5 \text{ kWh/m}^2$  día. Esta energía es suficiente para proporcionar diariamente  $220 \text{ Wh/día}$  de energía eléctrica a través de un panel fotovoltaico de  $50 \text{ Wp}$ ”. [3]

## **2.5. Irradiación solar.**

La irradiación es la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética. En unidades del sistema internacional se mide en  $\text{W/m}^2$ . Sirve de base para la definición de magnitudes físicas similares, entre las que la radiancia (energía emitida por unidad de superficie y por unidad de ángulo sólido) es la más utilizada. El estudio de la dirección con la cual incide la irradiación solar sobre los cuerpos situados en la superficie terrestre, es de especial importancia cuando se desea conocer su comportamiento al ser reflejada. La dirección

en que el rayo salga reflejado dependerá de la onda incidente. Existe dos componentes de la irradiación incidente sobre un punto: la irradiación solar directa y la irradiación solar difusa.

**Irradiación Solar Directa** es aquella que llega al cuerpo desde la dirección del Sol.

**Irradiación Solar Difusa** es aquella cuya dirección ha sido modificada por diversas circunstancias (densidad atmosférica, partículas u objetos con los que chocar, reemisiones de cuerpos). También se la utiliza para definir la constante solar, cantidad de energía solar que llega a la atmósfera superior de la Tierra por unidad de superficie y tiempo. Su valor es de 1367 W/m<sup>2</sup> según la escala del World Radiation Reference Centre (WRRC), de 1373 W/m<sup>2</sup> según la Organización Mundial de Meteorología (WMO de sus siglas en inglés) o de 1353 W/m<sup>2</sup> según la NASA.[4]

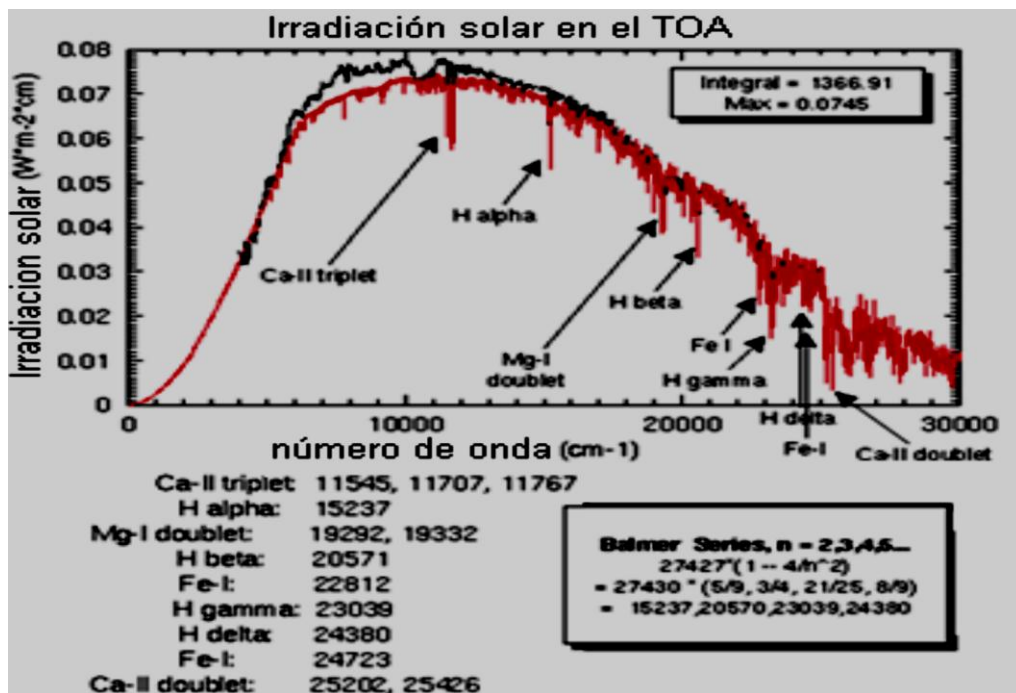


Fig. 5. Irradiación solar en la parte superior de la atmósfera. [4]

## **2.6. Ventajas e inconvenientes de las instalaciones fotovoltaicas.**

### **Ventajas**

- Es una fuente de energía renovable, sus recursos son ilimitados.
- Es una fuente de energía muy amigable con el medio ambiente, su producción no produce ninguna emisión.
- Los costos de operación son muy bajos.
- El mantenimiento es sencillo y de bajo costo.
- Los módulos tienen un periodo de vida hasta de 20 años.
- Se puede integrar en las estructuras de construcciones nuevas o existentes
- Se pueden hacer módulos de todos los tamaños.
- El transporte de todo el material es práctico.
- El costo disminuye a medida que la tecnología va avanzando.
- Es un sistema de aprovechamiento de energía idóneo para zonas donde no llega la electricidad.
- Los paneles fotovoltaicos son limpios y silenciosos.

### **Inconvenientes o desventajas**

- Los costos de instalación son altos, requiere de una gran inversión inicial.
- Los lugares donde hay mayor radiación solar, son lugares desérticos y alejados de las ciudades.
- Para recolectar energía solar a gran escala se requieren grandes extensiones de terreno.
- Falta de elementos almacenadores de energía económicos y fiables.
- Es una fuente de energía difusa, la luz solar es una energía relativamente de baja densidad.
- Posee ciertas limitaciones con respecto al consumo ya que no puede utilizarse más energía de la acumulada en períodos en donde no haya sol.



## 2.7. Componentes de un sistema fotovoltaico.

Los componentes necesarios para una instalación fotovoltaica para lugares totalmente aislados de la red de distribución eléctrica son:

- Un módulo fotovoltaico o panel solar
- Un regulador de carga para cuidado de una batería
- La apropiada batería
- Un inversor que transforma la tensión de C.C en C.A.

El sistema está destinado al alumbrado público, por ello se requiere una luminaria apropiado, con una lámpara de alta eficiencia y ahorro de energía.

### 2.7.1. Modulo fotovoltaico.

Los paneles o módulos fotovoltaicos (llamados comúnmente **paneles solares**, aunque esta denominación abarca otros dispositivos) están formados por un conjunto de celdas (células fotovoltaicas) que producen electricidad a partir de la **luz** que incide sobre ellos (energía solar fotovoltaica). El parámetro estandarizado para clasificar su potencia se denomina potencia pico (Wp), y se corresponde con la potencia máxima que el módulo puede entregar bajo unas condiciones estandarizadas, que son:

- Radiación de 1000 W/m<sup>2</sup>
- Temperatura de célula de 25 °C (no temperatura ambiente).

Los paneles fotovoltaicos, en función del tipo de célula que los forman, se dividen en:

## Cristalinas

- **Monocrystalinas:** Se componen de secciones de un único cristal de silicio (Si) (reconocibles por su forma circular u octogonal, donde los 4 lados cortos, si se puede apreciar en la imagen, se aprecia que son curvos, debido a que es una célula circular recortada).



**Fig.6.** Panel Monocrystalinas. [5]

- **Policristalinas:** cuando están formadas por pequeñas partículas cristalizadas.



**Fig.7.** Panel Policristalinas. [5]

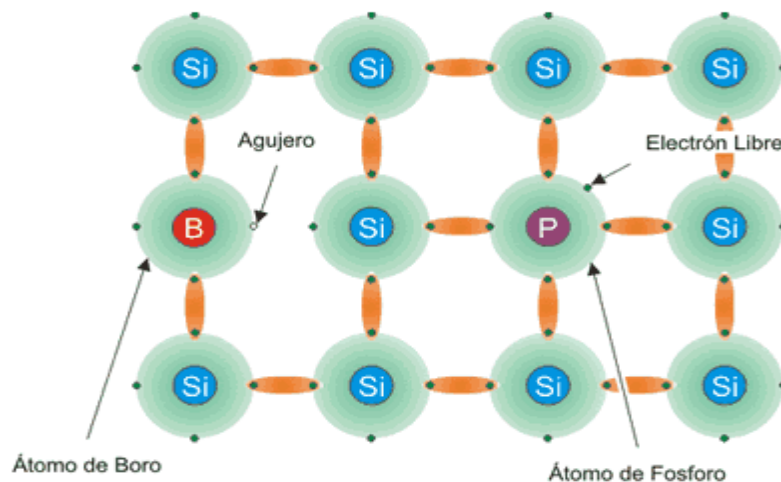
**Amorfos:** cuando el silicio no se ha cristalizado. **Son menos eficientes que las** células de silicio cristalino pero también menos costoso. Este tipo de células por ejemplo, se emplea en aplicaciones solares como relojes o calculadoras, celulares.

Su efectividad es mayor cuanto mayor son los cristales, pero también su peso, grosor y costo. El rendimiento de las primeras puede alcanzar el 20% mientras que el de las últimas puede no llegar al 10%, sin embargo su costo y peso es muy inferior. Son dispositivos formados por metales sensibles a la luz que desprenden electrones cuando los fotones inciden sobre ellos. Convierten energía luminosa en energía eléctrica. Están formados por células elaboradas a base de silicio puro con adición de impurezas de ciertos elementos químicos, siendo capaces de generar cada una de 2 a 4 Amperes, a una tensión de 0,46 a 0,48 V.

#### **2.7.1.1 Principio de funcionamiento.**

La conversión fotovoltaica se basa en el efecto fotoeléctrico, es decir, en la conversión de la energía lumínica proveniente del sol en energía eléctrica, que consiste en la captación de la energía radiante procedente del sol. Se transmite por el espacio en forma de fotones de luz. Estos fotones atraviesan la atmósfera terrestre perdiendo parte de su energía por los impactos con la misma. Esta pérdida de energía será función de la distancia que recorre (latitud y altitud del sol) y del tipo de atmósfera que atraviesen (clara o nublada) hasta alcanzar la superficie de la Tierra. Cuando fotones de un determinado rango de energía chocan con átomos de ciertos materiales semiconductores (el silicio es el más representativo) les ceden su energía produciendo un desplazamiento de electrones que definitivamente es una fuerza electromotriz. Estos fotones se caracterizan por su energía y su longitud de onda además depende del material semiconductor (silicio) para el desplazamiento de los electrones. Los electrones y los agujeros se presentan siempre en pares, es decir hay exactamente tantos electrones como agujeros.

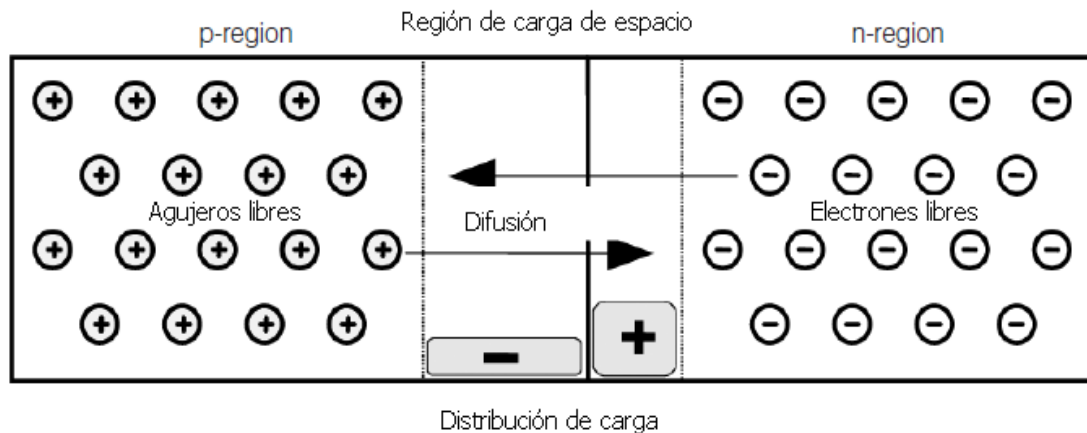
El silicio es el material con mayor uso general en la fabricación de paneles fotovoltaicos, el silicio es el segundo elemento abundante en la corteza de la tierra después del oxígeno, pero no puede ser encontrado en una forma químicamente pura. El silicio tiene cuatro electrones de la valencia en la cáscara externa. Para obtener la configuración más estable del electrón, dos electrones de átomos vecinos en el enrejado cristalino del silicio forman un atascamiento de los pares del electrón. Los átomos adyacentes. Substituyendo un átomo de silicio por un átomo que tenga 3 o 5 electrones de valencia producirá un espacio sin un electrón (un agujero) o un electrón que pueda moverse más libremente que los otros, esta es la base del doping tipo p, la creación de agujeros, es alcanzada mediante la incorporación en el silicio de átomos con 3 electrones de valencia, generalmente que utiliza boro. En el dopaje de tipo n, la creación de electrones adicionales es alcanzada incorporando un átomo con 5 electrones de valencia generalmente fósforo.



**Fig.8.** Estructura cristalina del silicio [6]

Una vez que se crea una unión de p-n, se hacen los contactos eléctricos al frente y en la parte posterior de la célula evaporando o pintando con el metal de la plancha. La parte posterior de la plancha se puede cubrir totalmente por el metal, pero el frente de la misma tiene que tener solamente un patrón en la forma de rejilla o de líneas finas de

metal, de otra manera el metal bloquearía al sol del silicio y no habría ninguna respuesta a los fotones de la luz incidente.

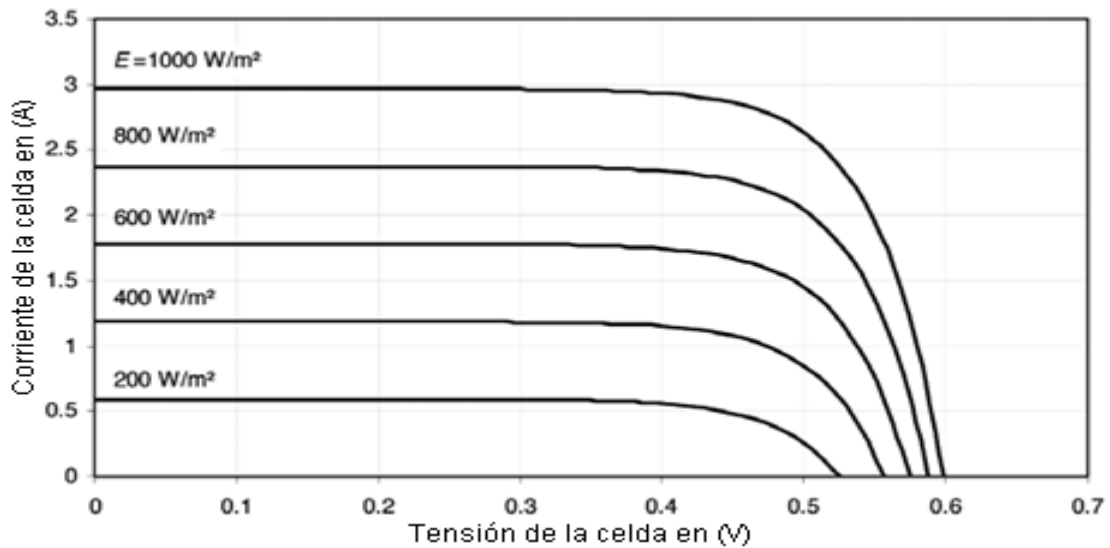


**Fig.9.** Formación de la región de carga de espacio en una ensambladura del p-n de difusión de electrones de agujeros. [7]

Los módulos fotovoltaicos o colectores solares fotovoltaicos (llamados a veces paneles solares, aunque esta denominación abarca otros dispositivos) están formados por un conjunto de celdas (células fotovoltaicas) que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos.

### 2.7.1.2. Punto de máxima potencia.

El punto de potencia máxima de un dispositivo fotovoltaico varía con la iluminación incidente. Para sistemas bastante grandes se puede justificar un incremento en el precio con la inclusión de dispositivos que midan la potencia instantánea por medida continua de la tensión y la intensidad de corriente, y usar esta información para ajustar, de manera dinámica, en tiempo real la carga para que se transfiera, siempre la máxima potencia posible, a pesar de las variaciones de luz, que se produzcan durante el día.



**Fig.10.** Influencia de la irradiación tensión-corriente de una celda solar. [8]

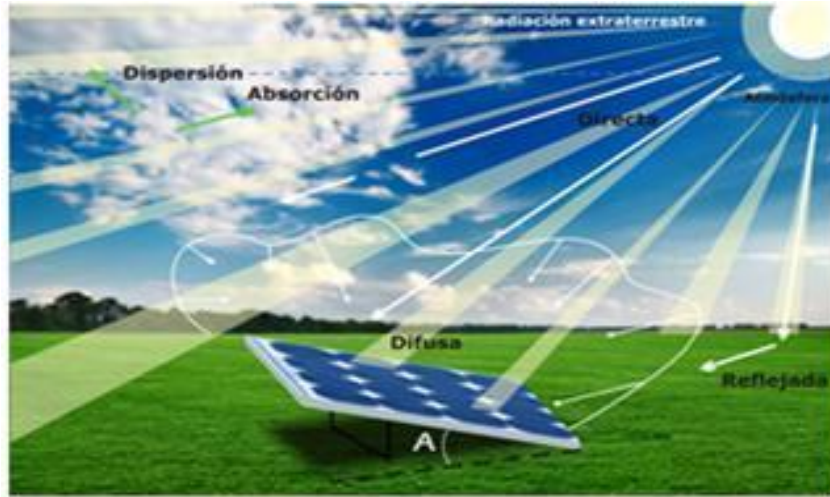
### 2.7.1.3 Eficiencia en la conversión de energía.

La eficiencia de una célula solar ( $\eta$ , "eta"), es el porcentaje de potencia convertida en energía eléctrica de la luz solar total absorbida por un panel, cuando una célula solar está conectada a un circuito eléctrico. Este término se calcula usando la relación del punto de potencia máxima,  $P_m$ , dividido entre la luz que llega a la celda, irradiancia ( $E$ , en  $W/m^2$ ), bajo condiciones estándar (STC) y el área superficial de la célula solar ( $A_c$  en  $m^2$ ).

$$\eta = \frac{P_m}{P \times A_c} \dots \dots \dots (1)$$

Las condiciones normales de operación son: una temperatura de 25 °C y una irradiancia de 1000  $W/m^2$  con una masa de aire espectral de 1,5 (AM 1,5). Esto corresponde a la irradiancia y espectro de la luz solar incidente en un día claro sobre una superficie solar inclinada con respecto al sol con un ángulo de 41,81° sobre la horizontal. Esta condición representa, aproximadamente, la posición del sol de mediodía en los equinoccios de primavera y otoño. De esta manera, bajo estas condiciones una célula solar típica de 100

cm<sup>2</sup>, y de una eficiencia del 12%, aproximadamente, se espera que pueda llegar a producir una potencia de 1,2 Watts.



**Fig.11.** Influencia de la irradiación en una celda fotovoltaica. [9]

Otro término para definir la eficacia de una célula solar es el factor de forma (**FF**), que se define como la relación entre el máximo punto de potencia dividido entre la tensión en circuito abierto ( $V_{oc}$ ) y la corriente en cortocircuito  $I_{cc}$ :

Donde:

$$\mathbf{FF} = \frac{P_m}{V_{0c} \times I_{sc}} = \frac{\eta \times A_c \times E}{V_{0c} \times I_{sc}} \dots\dots\dots (2)$$

- ✓ **FF** = Factor de forma.
- ✓  $P_m$  = Potencia máxima (W)
- ✓  $V_{0c}$  = Tensión de circuito abierto (V)
- ✓  $I_{cc}$  = Corriente de corto circuito(A)
- ✓  $\eta$  = Eficiencia de la celda
- ✓  $A_c$  = Área superficial (m<sup>2</sup>)
- ✓ **E** = Luz irradiante (W/m<sup>2</sup>)

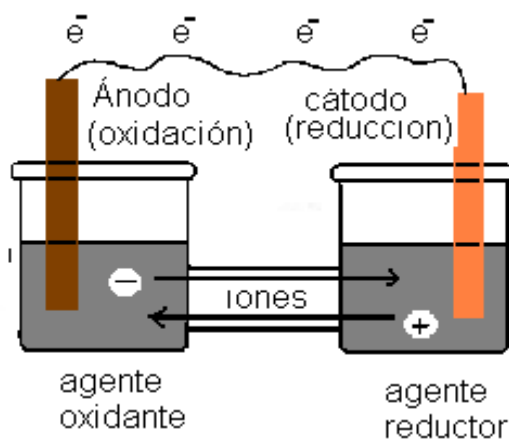
## 2.7.2. Baterías de acumulación.

En un sistema fotovoltaico la función del acumulador o batería es la de acumular la energía generada por el arreglo fotovoltaico durante el día, para poder utilizarla en la noche y en periodos de mal tiempo. Existen muchos tipos de batería para escoger la batería adecuada debemos entender cuáles son las características que lo definen estos son: capacidad en Amperios – hora, profundidad de descarga, y vida útil.

### 2.7.2.1 Principio de funcionamiento.

La batería ó **celda electroquímica** es un dispositivo experimental para generar electricidad mediante una reacción redox (oxido reducción) espontánea en donde la sustancia oxidante está separada de la reductora de manera que los electrones deben atravesar un alambre de la sustancia reductora hacia la oxidante.

La corriente eléctrica fluye del ánodo al cátodo porque hay una diferencia de energía potencial entre los electrodos. La diferencia de potencial eléctrico entre el ánodo y el cátodo se mide en forma experimental con un voltímetro, donde la lectura es la tensión de la celda.



**Fig.12.** Esquema de una batería. [10]



### 2.7.2.2 Requerimientos de la batería como fuente de alimentación.

Alta densidad de energía

La tensión o potencial es el primer parámetro a considerar, pues es el que suele determinar si el acumulador conviene al uso a que se le destina. Viene fijado por el potencial de reducción del par redox (oxido-reducción) utilizado; suele estar entre 1 V y 4 V por elemento.

La corriente que puede almacenar el elemento, medida en amperes (A), es el segundo factor a considerar. Especial importancia tiene en algunos casos la corriente máxima obtenible Ah (Ampere-hora); por ejemplo, los motores de arranque de los automóviles exigen esfuerzos muy grandes de la batería cuando se ponen en funcionamiento (decenas de A), pero actúan durante poco tiempo.

La energía que puede suministrar una batería se mide habitualmente en Wh (Watts-hora); la unidad SI es el joule.

$$1\text{wh} = 3600\text{J} = 3.6\text{KJ}; 1\text{J} = 0,278 \text{ mWh} \dots \dots \dots (3)$$

Una característica importante de un acumulador es su masa o su peso, y la relación entre ella y la capacidad eléctrica (A/kg) o la energía (W/kg) que puede restituir. En algunos casos puede ser también importante el volumen que ocupe (en  $m^3$  o en litros).

Las baterías de iones de litio (Li-ion) utilizan un ánodo de grafito y un cátodo de óxido de cobalto, trifilina (LiFePO<sub>4</sub>) u óxido de manganeso. Su desarrollo es más reciente, y permite llegar a altas densidades de capacidad. Apenas sufren el efecto memoria y pueden cargarse sin necesidad de estar descargadas completamente, sin reducción de su vida útil. No admiten bien los cambios de temperatura.

### **2.7.3. Regulador de carga.**

Los circuitos reguladores de carga tiene la función primordial de proteger la batería de sobrecargas o exceso de carga y descargas, que pueden disminuir la vida útil de la misma. El regulador debe monitorear la tensión de la batería, el cual es el indicador del estado de carga de la misma, si esta se encuentra descargada el regulador debe dar una señal para conectar el panel en paralelo con la batería y la carga.

Una vez que se ha alcanzado la tensión para lo cual se dice que la batería está cargada (14.1- 14,7 V. para baterías de plomo- acido selladas) el regulador debe enviar una señal de control que desconecte el panel de la batería y así evitar que esta se sobrecargue.

#### **2.7.3.1. Particularidades sobre los reguladores de carga.**

Las baterías se protegerán contra sobrecargas y descargas. En general, estas protecciones serán realizadas por el regulador de carga, aunque dichas funciones podrán incorporarse en otros equipos siempre que se asegure una protección equivalente.

Los reguladores de carga que utilicen la tensión del acumulador como referencia para la regulación deberán cumplir los siguientes requisitos: La tensión final de carga debe asegurar la correcta carga de la batería.

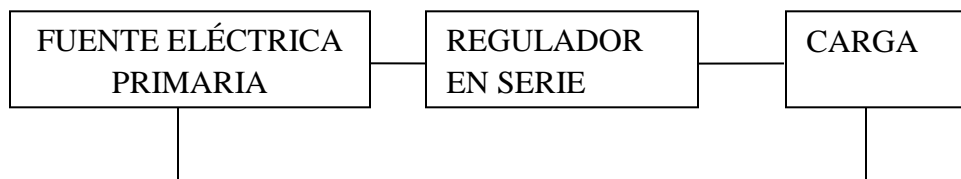
Los reguladores de carga estarán protegidos frente a cortocircuitos en la línea de consumo. Las pérdidas de energía diarias causadas por el autoconsumo del regulador en condiciones normales de operación deben ser inferiores al 3 % del consumo diario de energía.

Las tensiones de reconexión de sobrecarga y descarga serán distintas de las de desconexión, o bien estarán temporizadas, para evitar oscilaciones desconexión - reconexión.

El regulador de carga deberá estar etiquetado con al menos la siguiente información: Tensión nominal ( $V_n$ ), Corriente máxima ( $A_{max}$ ), Fabricante (nombre o logotipo) y número de serie, Polaridad de terminales y **conexiones en serie y paralelo**

➤ **Regulador tipo serie.**

El regulador tipo serie, consiste en agregar un elemento conmutador en serie entre el panel y la batería, controlada de acuerdo al voltaje de la batería, de manera que la batería alcance la tensión de sobrecarga el elemento conmutador desconecte al panel de la batería, formando un circuito abierto y cuando se necesite cargar la batería los conecte, cerrando el circuito. El elemento en serie puede ser un dispositivo electromecánico como un relé o un contactor ó puede ser un dispositivo de estado sólido como un transistor bipolar ó un MOSFET.

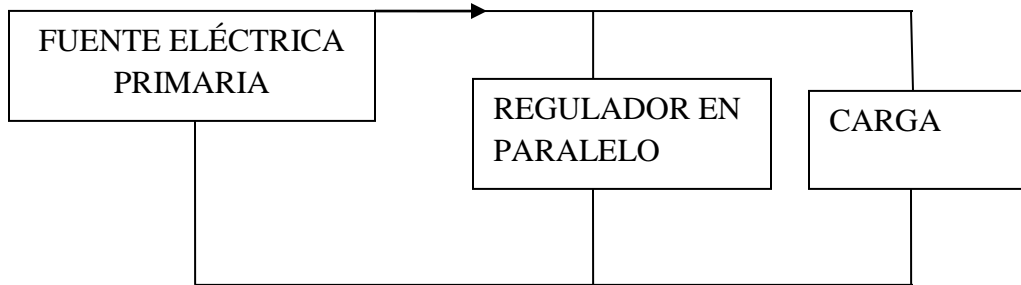


**Fig.13.** Regulador en serie

➤ **Regulador tipo paralelo.**

Consiste en agregar un elemento en paralelo entre el panel y la batería, de modo que una vez que la batería ha alcanzado su tensión de carga máxima, este dispositivo cree un camino de baja resistencia, desviando la corriente de la batería, disipándola. Una vez que

la batería necesita ser cargada el elemento forma un circuito abierto obligando a que la corriente del panel sea conducida directamente a la batería.



**Fig.14.** Regulador en paralelo

#### **2.7.4. Inversor.**

La energía generada por un arreglo fotovoltaico y la entrega de una batería es de corriente continua (DC) sin embargo, muchas aplicaciones requieren de corriente alterna (A.C.) para operar, es por esto que en muchos sistemas fotovoltaicos se hace necesario incluir un elemento adicional que sea capaz de convertir la corriente continua a corriente alterna. Este elemento es denominado inversor DC-AC.

##### **2.7.4.1. Indicaciones normativas.**

Los requisitos de los técnicos de inversores monofásicos ó trifásicos que funcionan como fuente de tensión fija (valor eficaz de la tensión y frecuencia de salida fija). Para otros tipos de inversores se aseguran requisitos de calidad equivalentes.

- Los inversores sean de onda senoidal pura. Se permitirá el uso de inversores de onda no senoidal, si su potencia es inferior a 1kVA, no producen daño a las cargas aseguran una correcta operación de estas.
- Los inversores se conectan a la salida de consumo del regulador de carga o en bornes del acumulador. En este último caso se asegurara la protección del acumulador frente a sobrecargas y descargas, de acuerdo con lo especificado. Estas protecciones podrán estar incorporadas en el propio inversor o se realizaran con un regulador de carga, en cuyo caso el regulador debe permitir breves bajadas de tensión en el acumulador para asegurar el arranque del inversor.
- El inversor debe asegurar una correcta operación en todo el margen de tensión de entrada permitidas por el sistema.
- E inversor será capaz de entregar la potencia nominal de forma continuada, en el margen de temperatura ambiente especificado por el fabricante.

#### **2.7.4.2. Recomendaciones para la selección de un inversor.**

La potencia del inversor debe seleccionarse de acuerdo con la aplicación del dispositivo. La suma de potencia de todos los consumidores no debe superar la potencia nominal del inversor. Las corrientes de arranque de los consumidores deben ser cubiertas por la potencia máxima del inversor. Para hacer posible la conexión de otros consumidores, se recomienda sobredimensionar el inversor.

Los inversores también se utilizan para convertir la corriente continua generada por los paneles solares fotovoltaicos, acumuladores o baterías, etc. en corriente alterna y de esta

manera poder ser inyectados en la red eléctrica o usados en instalaciones eléctricas aisladas.

Un inversor simple consta de un oscilador que controla a un transistor, el cual se utiliza para interrumpir la corriente entrante y generar una onda rectangular. Esta onda rectangular alimenta a un transformador que suaviza su forma, haciéndola parecer un poco más una onda senoidal y produciendo el voltaje de salida necesario.

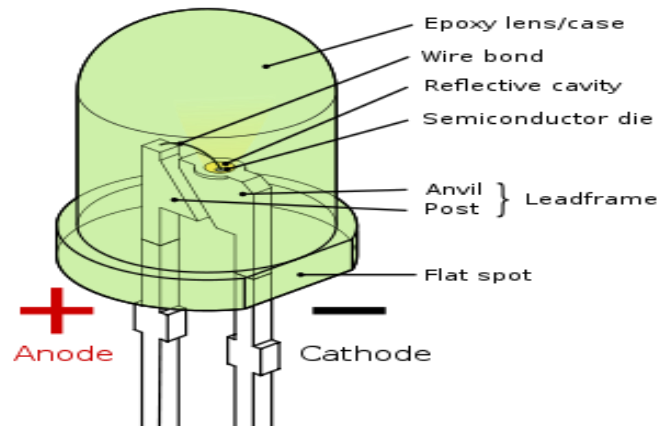
La forma de onda de salida del voltaje de un inversor ideal debería ser sinusoidal. Una buena técnica para lograr esto es utilizar la técnica de PWM logrando que la componente principal senoidal sea mucho más grande que las armónicas superiores.

Los inversores más modernos han comenzado a utilizar formas más avanzadas de transistores o dispositivos similares, como los tiristores, los triac o los IGBT.

Los inversores más eficientes utilizan varios artificios electrónicos para tratar de llegar a una onda que simule razonablemente a una onda senoidal en la entrada del transformador, en vez de depender de éste para suavizar la onda. Se pueden clasificar en general en dos tipos: 1) inversores monofásicos y 2) inversores trifásicos.

#### **2.7.5. Led (Light Emitting Diodo)**

Como se observa en la figura el Led es un dispositivo basado en un chip semiconductor capaz de emitir luz al aplicar una corriente eléctrica en el sentido conductor.



**Fig.15.** Esquema básico de un led. [11]

#### **2.7.5.1. Lámpara eficiente led.**

Los luminarias para alumbrado público proporcionan niveles de iluminación en promedio de 20 luxes, dependiendo del modelo, altura de montaje y tipo de luminaria empleados este valor puede cambiar. Actualmente las lámparas de led se pueden usar para cualquier aplicación comercial, desde el alumbrado decorativo hasta el de viales y jardines, presentando ciertas ventajas, entre las que destacan su considerable ahorro energético, arranque instantáneo, aguante a los encendidos y apagados continuos y su mayor vida útil, pero también con ciertos inconvenientes como su elevado costo inicial.

Por otro lado la eficiencia de los LED se ha incrementado considerablemente en los últimos años de 30 lm/W, e inclusive ya se habla de 150 lm/W, además se espera que siga incrementándose hasta superar a las lámparas convencionales.

#### **2.7.5.2. Magnitudes y unidades luminosas.**

No toda la luz emitida por una fuente llega al ojo, ni toda la energía consumida por un bombillo es transformada en luz, por esta razón, se hace necesario definir ciertas magnitudes que nos permita evaluar la eficiencia de los leds y las magnitudes más

utilizadas en luminancia son: **el flujo luminoso, intensidad luminosa, Iluminancia ó luminancia.**

**El flujo luminoso** se representa con la letra griega ( $\phi$ ), y se refiere a la potencia lumínica emitida por la fuente de luz. En otras palabras es la medida de la porción de energía que emite la fuente por unidad de tiempo al cual el ojo humano es sensible. El flujo luminoso no utiliza el vatio como unidad, porque la potencia emitida medida en vatios toma en cuenta la energía emitida en todas sus formas. Por esto se crea una unidad que tome como referencia sólo la energía lumínica emitida por la unidad de tiempo, el lumen (lm).

<b>Flujo luminoso</b>	<b>Símbolo: <math>\phi</math></b>
	<b>Unidad: lumen (lm)</b>

**Intensidad luminosa** el flujo luminoso ( $\phi$ ) emitido en una dirección por unidad de ángulo sólido ( $w$ ), este ultimo expresado en estereorradián. Su unidad es la candela (Cd) y se representa con la letra I.

<b>Intensidad luminosa</b>	<b>Símbolo: I</b>
$I = \phi / w$	<b>Unidad: candela (Cd)</b>

**Iluminancia** es la relación entre el flujo luminoso que recibe una determinada superficie y el área de la misma. Se simboliza con la letra E y su unidad es el Lux (**lm = lm/m<sup>2</sup>**).



<b>Illuminancia</b>	<b>Símbolo: E</b>
$E = \Phi/S$	<b>Unidad: lux (lx)</b>

Existen normas ó estándares que establecen la magnitud de luminancia que un sistema de iluminación debe proveer según la actividad que se realice en el sitio que se desee iluminar. En este caso el municipio de Escoma.

**Luminancia** hasta ahora hemos hablado de magnitudes que informan sobre propiedades de las fuentes de luz (flujo luminoso o intensidad luminosa) o sobre la luz que llega a una superficie (iluminancia). Pero no hemos dicho nada de la luz que llega al ojo que a fin de cuentas es la que vemos. De esto trata la luminancia. Tanto en el caso que veamos un foco luminoso como en el que veamos luz reflejada procedente de un cuerpo la definición es la misma. Se llama **luminancia** a 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<sup>2</sup>. También es posible encontrar otras unidades como el stilb (1 sb = 1 Cd/cm<sup>2</sup>) o el nit (1 nt = 1 cd/m<sup>2</sup>).

$$L = \frac{I}{S_{\text{aparente}}} = \frac{I}{S \cos \alpha}$$

### 2.7.5.3. Características de los Led.

Sin duda alguna de las principales características es su eficacia. En el mercado se tienen disponibles lámparas LED que suelen alcanzar eficacias de alrededor de 70 lm/W, pero ciertos productos, tales como la lámpara L, producida por Philips, son capaces de alcanzar valores del 90 a 100 lm / W. Además han sido reportadas ciertas lámparas de prototipos con eficacias superiores a 150 lm/W.

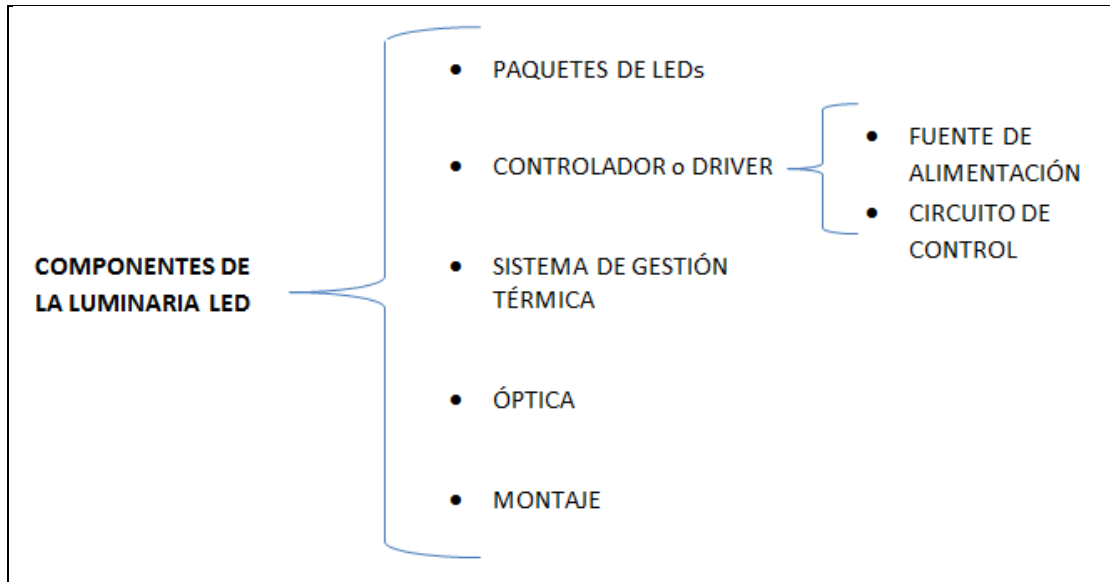
Las lámparas LED tienen las siguientes características:

- Vida útil promedio: > 50 mil horas, bajo mantenimiento
- Temperatura de color: 2700-7000 k
- Índice de rendimiento de color: CRI= 70-90 %
- Eficacia promedio: 80-150 lm/w
- Depreciación de flujo luminoso 30 – 40% (hasta 50.000 horas y después el flujo se mantiene constante)
- Temperatura de operación: – 35° a + 40° C
- Encendido y reencendido: rápido

Para el año 2030 el Departamento de Energía de EE.UU. ha estimado que la tecnología LED tendrá el potencial de producir un ahorro anual de energía de 190 teravatios-hora, lo que equivale a 24 grandes centrales eléctricas (1.000 MW).

#### **2.7.5.4. Componentes de luminarias LED.**

La tecnología LED y la amplitud de la oferta pueden crear confusión, por eso es necesario distinguir qué componentes influyen realmente en la calidad de una luminaria LED y de esta forma poder asegurarse de que realmente se hace una buena inversión al apostar por la iluminación eficiente. Entender cada componente de una luminaria y su contribución al rendimiento de la luminaria en general, ayuda a resaltar las oportunidades para mejorar la eficiencia energética.



**Fig.16.** Componentes de la luminaria LED. [12]

**Paquete de LED:** Se refiere a un conjunto de uno o más LED que incluye enlace de alambre u otro tipo de conexiones eléctricas (térmicos, mecánicos, o interfaces eléctricas) y opcionalmente un elemento óptico.

**Controlador o driver del led:** se refiere a un dispositivo compuesto por una fuente de energía y circuitos de control del LED, diseñado para recibir la entrada de un circuito de derivación y operar ya sea un paquete de LED.

**Fuente de alimentación** se refiere a un dispositivo electrónico capaz de proporcionar y controlar la corriente, tensión, o potencia, dentro de los límites de diseño, ya que los LED no se conectan directamente a la corriente como una bombilla incandescente, sino que requieren de una fuente de alimentación previa (o convertidor de tensión), por lo que, el aprovechamiento real de la energía eléctrica de un LED depende también en gran medida de éste convertidor. Una fuente de alimentación apropiada influye en la eficiencia y la estabilidad de la luminaria.

**Circuito de control** se refiere a componentes electrónicos diseñados para controlar una fuente de energía mediante el ajuste de la tensión de salida, ciclo actual o la obligación de cambiar o controlar de otro modo la cantidad y las características de la energía eléctrica suministrada a un paquete de LED.

**Sistema de gestión térmica:** Es de especial importancia la gestión térmica, para que los módulos led funcionen por debajo de la gama de temperaturas crítica, alcancen su máxima duración y desplieguen su potencia especificada durante todo el tiempo de funcionamiento. La disipación del calor es una de las claves de la duración de un LED. Es importante explicar que los LED no emiten calor (por eso se llama luz fría), pero eso no significa que no lo generen. Por este motivo es necesario “extraer” ese calor, ya que hasta el 90 % de la energía puede llegar a perderse. Además de influir en la durabilidad, el calor también puede afectar al color y a la calidad de la luz, de ahí la importancia de una correcta disipación. También es importante la carcasa exterior, que sea de un material ligero, resistente y que su estructura favorezca la disipación del calor, utilizando materiales como el aluminio, el magnesio.

**La óptica** la óptica es el conjunto de lentes exteriores que fijan la distribución de la luz emitida por el LED. La forma y composición de los lentes que constituyen la óptica puede modificarse en función de las necesidades de iluminación y distribución de la luz que se requieran. De esta forma, según la forma del lente, el haz de luz puede hacerse converger ó divergir.

**Montaje postes solares** el poste es la estructura sobre la cual se soporta la ó las luminarias solares, generalmente son metálicos y van anclados al piso con un bloque de concreto. De acuerdo a las normas internacionales el montaje de las luminarias se la pone a ciertas alturas para calles, para parques ó autopista según la siguiente figura.



**Fig.17.** Estructuras de poste. [13]

#### **2.7.5.5. Ventaja de utilizar LED.**

- Tecnología a la vanguardia en iluminación que ofrece más del doble de eficiencia de luminaria que las tradicionales.
- Vida útil de más de 10 años.
- Ahorran hasta 80% de gastos por consumo eléctrico.
- No necesita mantenimiento.
- Se obtiene calidad de color; no UV ni IR.

- Genera poco calor y enciende instantáneamente.

## 2.8. Principales tipos de lámpara.

En el mercado actual podemos encontrar varios tipos de tecnologías de lámparas, las cuales de acuerdo a sus características pueden resultar más útiles para su aplicación que para otra.

### 2.8.1. Lámparas incandescentes.

El principio de esta lámpara consiste en hacer pasar una corriente eléctrica por un filamento, generalmente tungsteno, provocando que este alcance altas temperaturas y a su vez emita radiaciones visibles. En este filamento se coloca dentro de una ampolla de vidrio sellado al vacío o lleno de gas inerte para evitar el filamento entre en combustión y se queme. [15]



**Fig.18** Lámpara incandescente convencional [14]

La eficiencia de este tipo de lámparas es muy baja, sin embargo sigue siendo una de las más utilizadas en aplicaciones domésticas porque aparte de que ofrece una muy buena calidad de calor y no necesita equipos auxiliares para lograr su encendido, es económico y de tamaño reducido.

### **2.8.2. Lámparas halógenas.**

Estos utilizan un principio de operación de la lámpara incandescente convencional, pero se diferencian de esta por poseer un compuesto de halógeno (yodo bromo) en el gas contenido en ampolla. Este gas tiene como finalidad controlar la evaporación del tungsteno y de esta manera evitar que el mismo se condense en la ampolla y la oscurezca.

Estas lámparas operan a altas temperaturas para que los haluros de tungsteno, formado por la combinación del tungsteno evaporado con el compuesto halógeno, no se condensen. Una vez que el haluro de tungsteno se acerca al filamento y experimenta la alta temperatura de este, se descompone dado como resultado los dos componentes iniciales, tungsteno el cual es depositado en el filamento, y halógeno en estado gaseoso que se pone en espera para comenzar el nuevo ciclo. Para soportar estas altas temperaturas es fabricado en cuarzo. Y la diferencia de esta lámpara con la lámpara incandescente convencional, es mayor tiempo de vida, mayor eficiencia, menor tamaño, mayor temperatura de calor y poca depreciación de luminancia en el tiempo.

### **2.8.3. Sodio de baja presión.**

Son lámparas de descarga cuyo principio de funcionamiento es similar a las lámparas de vapor de mercurio de baja presión. La descarga se produce en un tubo en forma de U, para aprovechar espacio, echo en un vidrio especial cubierto interiormente de una capa resistente al sodio. En su interior contiene sodio metálico de alta pureza y otros gases

que ayuden al proceso de arranque. La radiación de la 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 200lm/W. además posee una larga vida.

#### 2.8.4. Sodio de alta presión.

Por las propiedades reactivas de 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 ovoide ó 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. La radiación del vapor de sodio a alta presión abarca una buena porción del espectro visible, lo que implica que la reproducción cromática sea mejor que en el caso de baja presión. Su aspecto es de color amarillo dorado y tiene una buena eficiencia. [16]

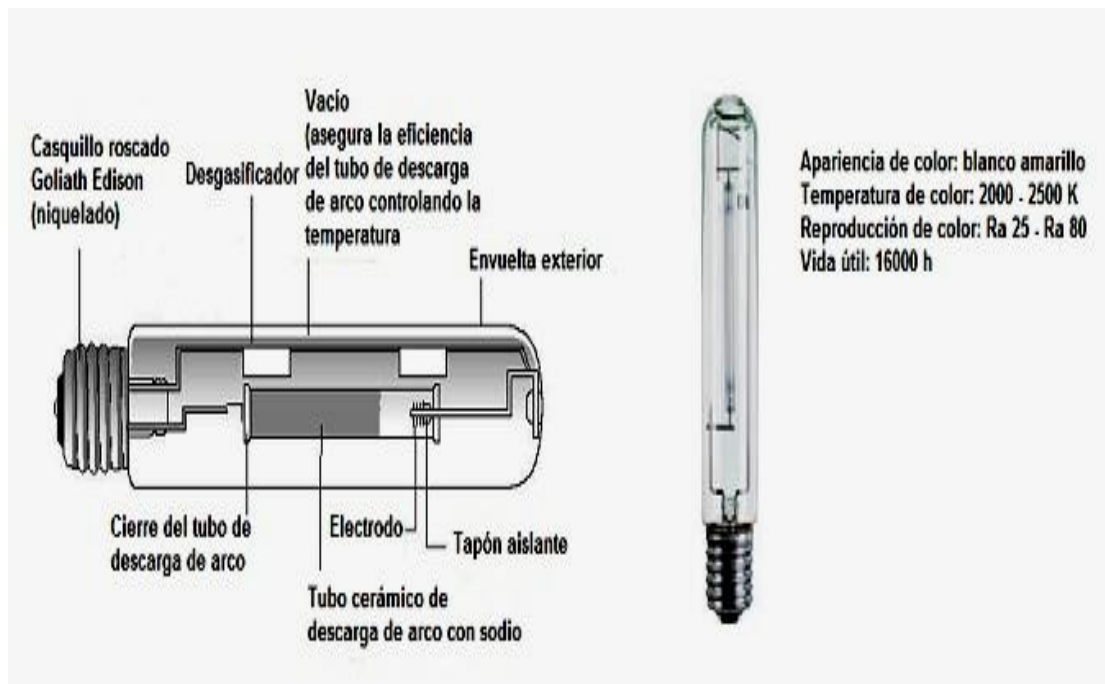


Fig.19 Lámpara de sodio de alta presión [15]



### **2.8.5. Lámparas de mercurio de alta presión.**

Al igual que el de mercurio de baja presión (fluorescente) ésta es una lámpara de descarga, del cual se realiza en un tubo hecho de cuarzo para soportar la alta presión y alta temperatura de trabajo. A su vez este tubo de descarga es introducido dentro de una ampolla de vidrio llena de gas inerte a presión atmosférica, para proteger al tubo de cambios de temperatura para disminuir la oxidación de los materiales. Para lograr el encendido se utiliza un electrodo de arranque que ioniza el gas interior para facilitar la descarga. Como toda las lámparas de descarga a alta presión, la lámpara de mercurio no alcanza su pleno rendimiento inmediatamente, por el contrario tiene un tiempo de encendido de aproximadamente 4 minutos, y requiere de un equipo auxiliar (balasto) para regular la corriente, y un condensador para mejorar el factor de potencia.

### **2.8.6. Metal halide.**

Son las lámparas de vapor de mercurio a alta presión que además contienen diferentes metales en polvo en forma de haluro, que se disgregan una vez que la lámpara se calienta y evapora el metal, al agregar haluros metálicos a una lámpara de vapor de mercurio a alta presión representa una mejora en cuanto a la reproducción cromática y eficiencia lumínica. Requiere de un equipo auxiliar para operar, tales como un ignitor ó arrancador, balasto o condensador. [16]

### **2.8.7. Luz mixta.**

Es la combinación de la lámpara de vapor de mercurio a la presión y la lámpara incandescente, como resultado de tratar de corregir el aspecto azul verdoso de luz de la lámpara de mercurio. El filamento incandescente actúa como regulador de corriente por lo que esta lámpara no requiere de balasto, se puede conectar directamente a la red, pues

tampoco necesita ignitor, tiene un tiempo de encendido en algunos minutos para ser reencendida necesita enfriarse. [16]



---

### **CAPÍTULO 3**

### **INGENIERÍA DEL PROYECTO**

## **Introducción.**

En este capítulo se desarrollara la ingeniería del proyecto que trata del sistema autónomo de alumbrado público haciendo un estudio de viabilidad y cálculos respectivos.

### **3.1. Selección del tipo de lámpara.**

En un sistema fotovoltaico aislado es importante escoger una fuente luminosa de alto rendimiento y en lo posible de bajo consumo, ya que la cantidad de energía que se le puede suministrar está limitada por la capacidad de los paneles y de las baterías. Para seleccionar el tipo de luminaria se siguieron los siguientes pasos.

- a) Estudio del área a iluminar.
- b) Estudio de los tipos de lámparas utilizados en sistemas fotovoltaicos.

#### **3.1.1. Estudio del área a iluminar.**

El sistema de iluminación está orientado a iluminar áreas exteriores públicas, tales como plazas, estacionamientos, veredas, entre otras. De acuerdo a esto es necesario regirnos a una norma basado en alumbrado público, Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (**IBNORCA**), Norma Boliviana **NB1412001-2:2013**. La norma define el nivel de iluminación para cada tipo de alumbrado y vías de acuerdo a la intensidad de tráfico, la velocidad de los vehículos, el tránsito de los peatones la importancia de la reproducción de colores, los tipos y accesos y la geometría general de la vía.

En este caso el sistema de iluminación será:

- Velocidad de circulación → muy reducido

- Velocidad del tránsito —> muy reducido ( menor a 100 vehículos/ hora)

**3.1.1.1. Clases de iluminación para diferentes tipos de vías (según alumbrado Público).**

Descripción de la vía	Iluminación
Vías de alta velocidad con calzadas separadas exenta de cruces a nivel y con accesos completamente controlados: autopistas expresas Densidad del tráfico y complejidad de la vía Alto Medio Bajo	M1 M2 M3
Vías de alta velocidad, vías con doble sentido de circulación. Control de tráfico y separación de diferentes usuarios de la vía Escaso Suficiente	M1 M2
Vías más importantes de tráfico urbano, vías circunvalares y distribuidoras. Control de tráfico y separación de diferentes usuarios de la vía Escaso Bueno	M2 M3
Conectores de vías de poca importancia, vías distribuidoras locales, vías de acceso a zonas residenciales. Vías que conducen a las propiedades y a las otras vías conectoras. Control de tráfico y separación de diferentes usuarios de la vía. Escaso Bueno	M4 M5

De acuerdo a la **NB 1412001-2** se clasifican en cinco clases. **M1** a **M5**, las que dependen y se seleccionan de acuerdo con la función de la vía, densidad, complejidad,

separación y existencia de medios para el control del tráfico, tales como las señales y semaforización. De acuerdo a la tabla se determina el nivel de iluminación que debe cumplir el sistema: **M4 y M5**.

### **3.1.2. Estudio de los tipos de lámparas utilizados en sistemas fotovoltaicos.**

El tipo de lámpara para este sistema fotovoltaico se debe seguir los siguientes criterios.

- Dado que en sistemas fotovoltaicos la energía es limitada, se prefieren lámparas de alto rendimiento y bajo consumo, lo que se traduce a alta eficiencia, es decir más luz por menos vatios.
- Dado que los paneles solares y las baterías generan corriente continua, se debe buscar lámparas que trabajen con corriente continua de 12V DC ó 24V DC, y así poder omitir el elemento inversor y a su vez eliminar las pérdidas que este genera al sistema.
- Al igual que para cualquier sistemas de iluminación se debe seleccionar una lámpara adecuada para el tipo de aplicación para el que se va utilizar.

Adicionalmente se toman ciertos criterios para la elección de iluminación exterior.

- Una lámpara de larga vida útil que no requiera de mucho mantenimiento ya que estará en áreas remotas al municipio.
- La luminaria debe estar protegida contra suciedad y humedad que sea resistente a los golpes, que tengan las protecciones eléctricas pertinentes y que requiera de poco mantenimiento.

### **3.2. Cuadro comparativo de los tipos de lámparas estudiados.**

1. Los tipos de lámparas más eficientes son los siguientes.

- Sodio de alta presión (60-150 lm/W)
- Sodio de baja presión (50-140 lm/W)
- Metal Halide (70-115 lm/W)
- Fluorescentes Tubulares (30-110 lm/W)
- Fluorescentes Compactas (50-70 lm/W)

2. Los tipos de lámpara menos eficientes son.

- Incandescente (10-17 lm/W)
- Halógenas (12-22 lm/W)
- Luz mixta (19-28 lm/W)

Además se observa que son las menos eficientes son las que presentan un menor vida útil, por lo que se descartan para esta aplicación.

3. Las lámparas de mercurio tienen una larga vida útil, sin embargo su eficiencia no es muy buena y además contamina, por lo general no se utilizan.

4. El tipo de lámpara que mejor presenta la vida útil es la tecnología semiconductora Led con 50.000 a 100.000 horas, lo cual es muy superior a la vida útil de cualquier otra tecnología. En general esta tecnología presenta buenas cualidades de luz y además opera con corriente continua por lo que no necesitamos un inversor, sin embargo es una tecnología relativamente nueva por lo que es muy costosa, y a pesar de que se espera que en un futuro su eficiencia supere a las otras tecnologías. Es importante señalar que la tecnología LED ya

está siendo usado en iluminación con energía solar, por tener larga vida útil, trabajar con corriente continua y tener una buena calidad de iluminación.



**Fig. 20.** Estado sólido LED [16]

5. Las lámparas fluorescentes y las de vapor de sodio son tal vez la que mejor cumple con los criterios señalados por su bajo costo. Las lámparas de sodio son las comúnmente utilizadas para aplicaciones de alumbrado público.
6. En el mercado nacional se consiguen los puntos 4 y 5, estas tres tecnologías con capacidad de operar a 12VDC, que es el voltaje de la batería, eliminando así la necesidad de incluir el Inversor al sistema.

### **3.3. Requisitos Básicos de una Luminaria.**

Son tres los requisitos (**fotométricos, mecánicos ó eléctricos, estéticos**).

#### **3.3.1. Requisitos Fotométricos:**

- Reparto de flujo luminoso.
- Cumplimiento de los parámetros garantizados en el diseño de iluminación.
- Alta eficiencia lumínica.



- Alto coeficiente de utilización.

### **3.3.2. Requisitos mecánicos y eléctricos:**



- Servir de soporte y protección para los dispositivos eléctricos alojados en su interior.
- Ser de fácil instalación y mantenimiento.
- Permitir fácil ventilación del sistema eléctrico y del conjunto óptico (de acuerdo con la condición más exigente entre la recomendación de fabricante y el requisito de norma), garantizando el IP y el IK.
- Ser eficiente y compacta.

### **3.3.3. Requisitos estéticos:**



Las luminarias de alumbrado público, encendidas durante la noche o apagadas en el día, deben armonizar con el ambiente e integrarse con el amoblamiento del sitio de instalación.

## **3.4. Clasificación de luminarias por condiciones operativas bajo normas europeas.**

**El sistema IP (International Protección – Protección Internacional).** Fijado por la UNE-EN 60598 clasifica las luminarias de acuerdo con el grado de protección que poseen contra el ingreso de cuerpos extraños, polvo y humedad. La designación para indicar los grados de protección consiste en las letras características de IP seguidas por dos números (tres números en Francia) que indican el cumplimiento de las condiciones establecidas en las tablas 1 y 2. El primero de estos números es una indicación de la protección contra el ingreso de cuerpos extraños y polvo, el segundo número indica el grado de sellado para evitar el ingreso de agua.

Primer número característico	Breve descripción	Símbolo
0	No protegida.	No tiene
1	Protegida contra objetos sólidos mayores de 50 mm.	No tiene
2	Protegida contra objetos sólidos mayores de 12'5 mm.	No tiene
3	Protegida contra objetos sólidos mayores de 2'5 mm.	No tiene
4	Protegida contra objetos sólidos mayores de 1 mm.	No tiene
5	Protegida contra polvo.	
6	Hermética al polvo.	

**Tabla1.** Clasificación EN-60598 por grado de protección contra polvo.

Segundo número característico	Breve descripción	Símbolo
0	No protegida.	No tiene
1	Protegida contra gotas de agua en caída vertical.	
2	Protegida contra caída de agua verticales con una inclinación máxima de 15° de la envolvente.	No tiene
3	Protegida contra el agua en forma de lluvia fina formando 60° con la vertical como máximo.	
4	Protegida contra proyecciones de agua en todas las direcciones.	
5	Protegida contra chorros de agua en todas las direcciones.	
6	Protegida contra fuertes chorros de agua en todas las direcciones.	No tiene
7	Protegida contra efectos de inmersión temporal en agua.	
8	Protegida contra la inmersión continua en agua.	

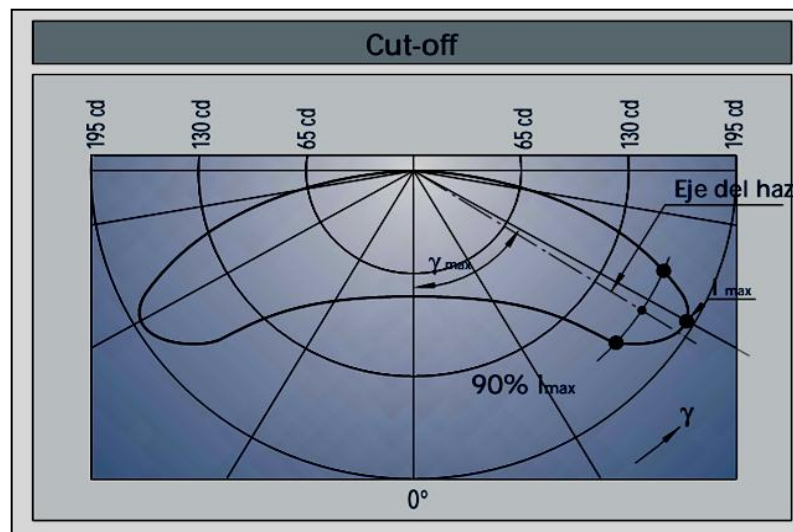
**Tabla2.** Clasificación EN-6098 por grado de protección contra agua.

### 3.4.1. Clasificación CIE.

La nueva clasificación de luminarias de la C.I.E. que reemplaza a la anterior se basa en tres propiedades básicas de las luminarias:

1. La extensión a la cual la luz de la luminaria se distribuye a lo largo del camino: el “alcance” de la luminaria.
2. La cantidad de diseminación lateral de la luz, a lo ancho de un camino. “Apertura”.
3. El alcance de la instalación para controlar el deslumbramiento producido por la luminaria: El “control” de la luminaria.

El alcance está definido por el ángulo  $Y_{max}$  que forma el eje del haz con la vertical que va hacia abajo. El eje del haz está definido por la dirección de la bisectriz del ángulo formado por las dos direcciones de  $90\% I_{max}$  en el plano vertical de intensidad máxima.



**Fig21.** Curva polar de intensidad en el plano que contiene la intensidad luminosa máxima que indica el ángulo utilizado para la determinación del alcance. [19]

Se definen tres grados de alcance de la manera siguiente:

- |                                       |                  |
|---------------------------------------|------------------|
| $Y_{max} < 60^\circ$                  | : alcance corto. |
| $70^\circ \geq Y_{max} \geq 60^\circ$ | : alcance medio. |
| $Y_{max} > 70^\circ$                  | : alcance largo. |

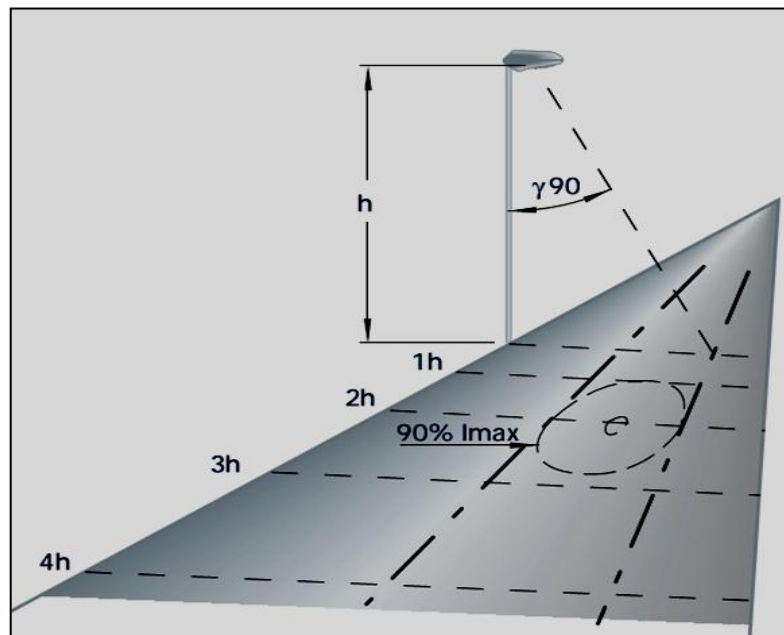
La apertura o dispersión está definida por la posición de la línea que corre paralela al eje del camino y que apenas toca el lado más alejado del 90%  $I_{max}$  en el camino. La posición de esta línea está definida por el ángulo  $Y_{90}$ .

Los tres grados de apertura se definen de la siguiente manera:

$Y_{90} < 45^\circ$  : alcance estrecha.

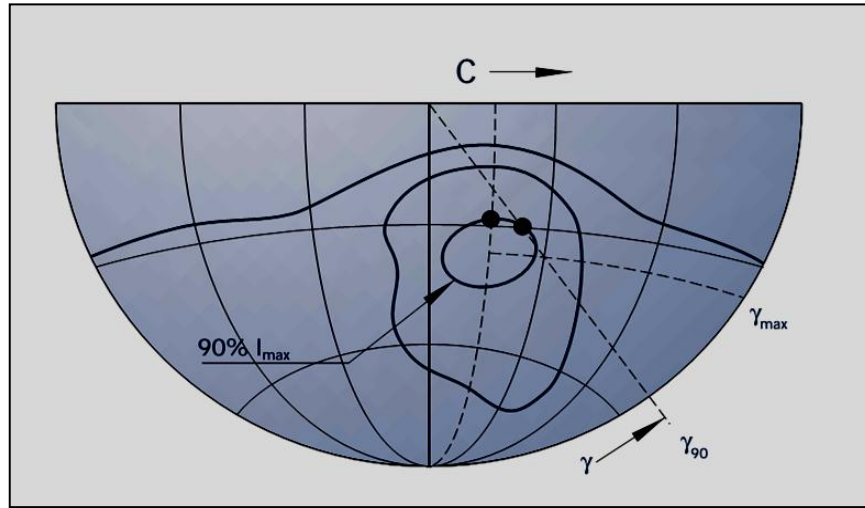
$55^\circ \geq Y_{90} \geq 45^\circ$  : alcance medio.

$Y_{90} > 55^\circ$  : alcance ancha.

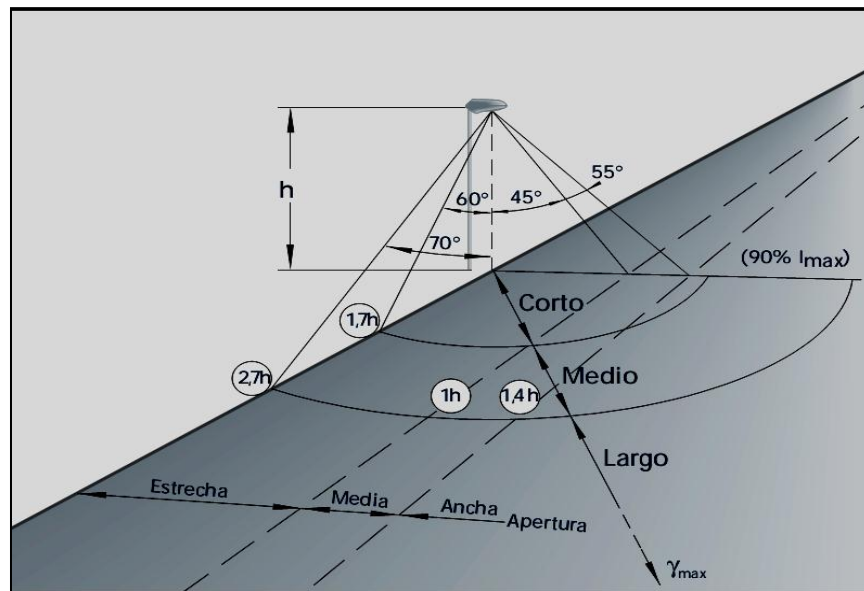


**Fig22.** Apertura o dispersión [19].

Tanto alcance como la apertura de una luminaria pueden ser mejor determinados a partir de un diagrama de isocandela en la proyección acimutal.



**Fig23.** Diagrama de isocandela relativo en proyección acimutal (sinusoidal), que indica los ángulos  $\gamma_{max}$  e  $\gamma_{90}$  utilizados para la determinación de la apertura y alcance (19).

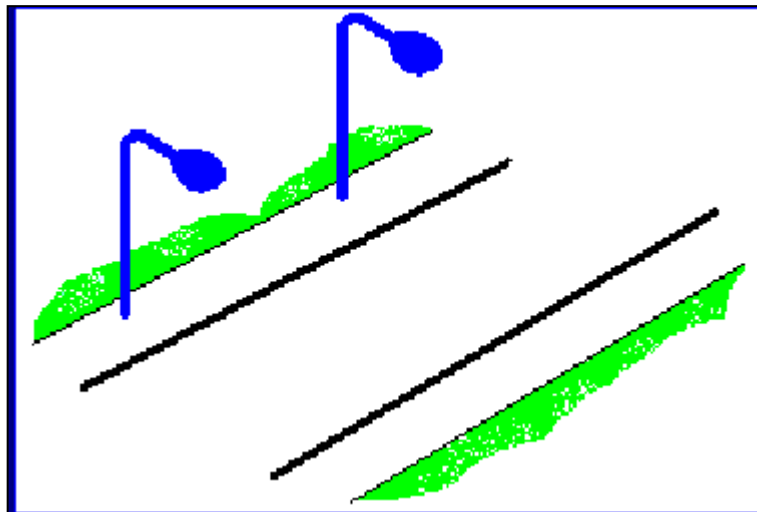


**Fig24.** Se muestra 3 grados de alcance y apertura definidos por la CIE. Y “h” es altura de montaje de la luminaria (19).

### 3.4.2. Disposición de luminarias en vías públicas:

#### a) Unilateral:

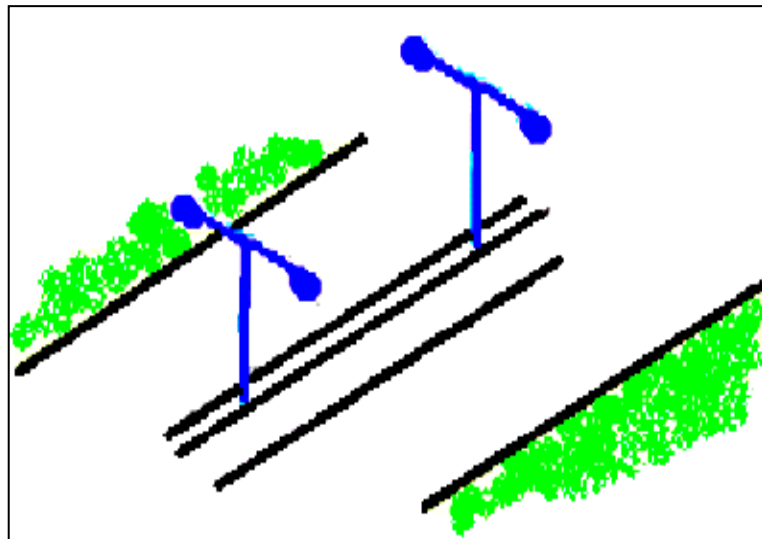
- Luminarias instaladas en un solo lado de la vía
- Se utiliza donde el ancho de vía ( $w$ ) es inferior a la altura de montaje de la luminaria ( $hm$ )
- Se recomienda utilizar luminarias con clasificación IES Tipo I o clasificación CIE Dispersión estrecha.
- En esta disposición se debe tomar en cuenta la limitación de la luminancia en el carril opuesto.
- Se puede cambiar el reglaje para que la luminaria sea más dispersante (dispersión estrecha o media)
- Aumentar el Angulo de inclinación de la luminaria. ( $0, 5^\circ, 10^\circ$ ).
- Aumentar la longitud del brazo.
- Se debe seleccionar la interdistancia de luminarias ( $S$ ) y la altura de montaje ( $hm$ ) logrando la uniformidad e iluminancia de la vía.



**Fig25.** Tramos rectos de vías con una única calzada. [19]

**b) Central Doble brazo:**

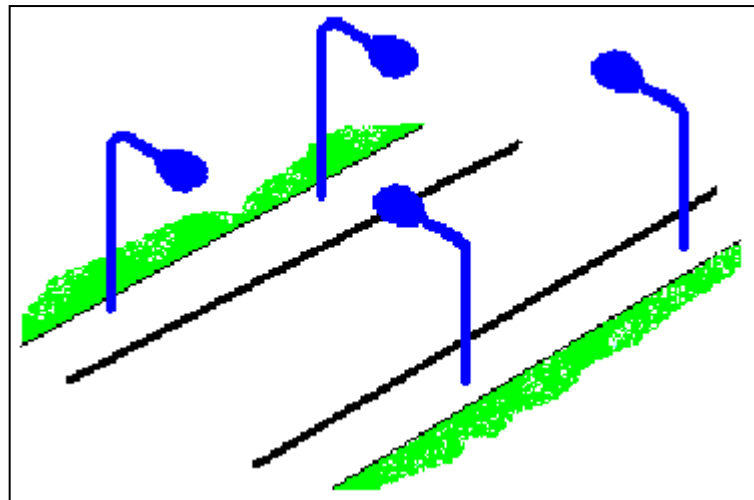
- Cuando existen vías donde los carriles de circulación en una dirección y otra se encuentran separados por un pequeño andén (jardinera central de hasta 2 m. de ancho).
- Los postes se comparten en el separador central a manera de dos disposiciones unilaterales. Esta manera de agrupar se llama central sencilla.
- En esta disposición se debe tomar en cuenta la limitación de la luminancia en el carril opuesto.
- Se puede cambiar el reglaje para que la luminaria sea más dispersante (dispersión estrecha o media)
- Aumentar el Angulo de inclinación de la luminaria. (0, 5°, 10°).
- Aumentar la longitud del brazo.
- Se debe seleccionar la interdistancia de luminarias (S) y la altura de montaje (hm) logrando la uniformidad e iluminancia de las vías.



**Fig26.** Central doble brazo [19].

**c) Bilateral Alternada:**

- Cuando la vía presenta un ancho (W) superior a la altura de montaje (hm) de las luminarias ( $1 < (W/hm) < 1.50$ ).
- Se puede utilizar luminaria clasificadas como Tipo II de la IES o de Dispersión media en el modelo de la CIE.
- En esta disposición bilateral alternada, las luminarias se ubican alternadamente a cada lado de la vía.
- Esta disposición asegura una buena distribución de las áreas de luminancia sobre la calzada, siempre que el diseñador seleccione bien la interdistancia.
- Se puede también: Reglaje, aumentar inclinación, aumentar longitud de brazo.



**Fig27.** Bilateral Alternada [19].

**d) Bilateral Opuesta:**

- Cuando la vía presenta un ancho (W) muy superior a la altura de montaje (hm) de las luminarias ( $1.25 < (W/hm) < 1.75$ ).



- Se puede utilizar luminaria clasificadas como Tipo III de la IES o de Dispersión Ancha en el modelo de la CIE.
- En esta disposición bilateral opuesta, las luminarias se ubican a cada lado de la vía enfrentadas con su correspondiente lado contrario.
- Esta disposición permite, además, el mejor efecto de iluminación sobre la vía, tanto en cantidad de luminancia como en la uniformidad de su reparto y en todos los carriles de circulación.

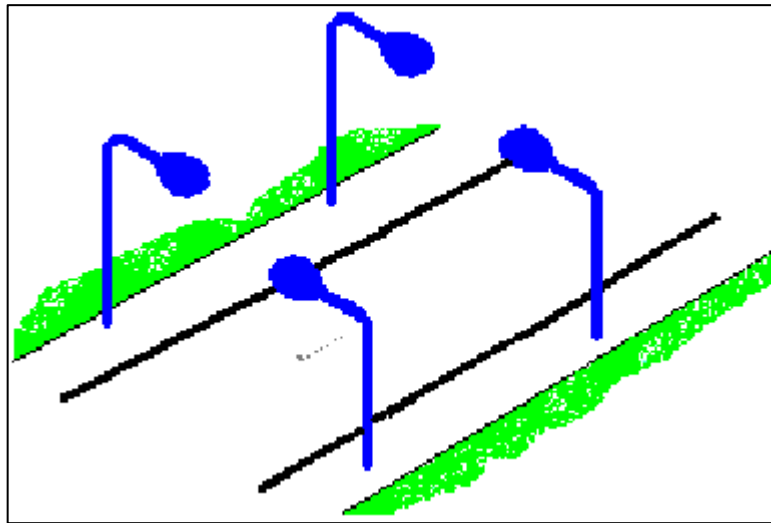


Fig28. Bilateral Opuesta [19].

### 3.5. Método punto por punto.

Para utilizar este método del punto por punto se necesita previamente conocer las características fotométricas de las luminarias, la disposición de las mismas la altura y sobre el plano de trabajo, una vez conocidos estos elementos se puede empezar a calcular las **iluminancias**. Mientras más puntos se calculen mas información se tendrá sobre la distribución de la luz esto es particularmente importante si se trazan los diagramas de isolux de la instalación.

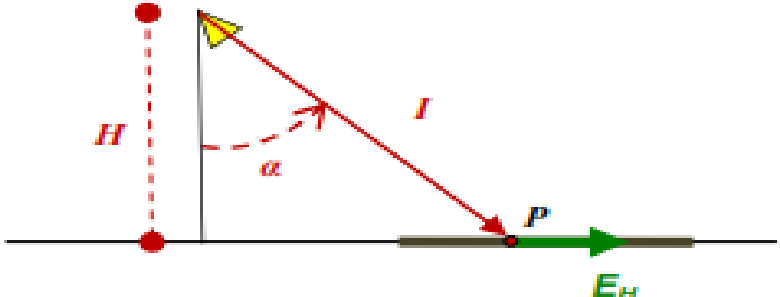
La iluminancia horizontal en un punto se calcula como la suma de la componente de la iluminación directa (producida por la luz que llega al plano de trabajo directamente de las luminarias) más de la iluminación **indirecta** (procedente de la reflexión de la luz de las luminarias en el techo, paredes y demás superficies del local. Por lo tanto:

$$E = E_{directa} + E_{indirecta} \dots\dots\dots (4)$$

**3.5.1. Componente directo en un punto.**

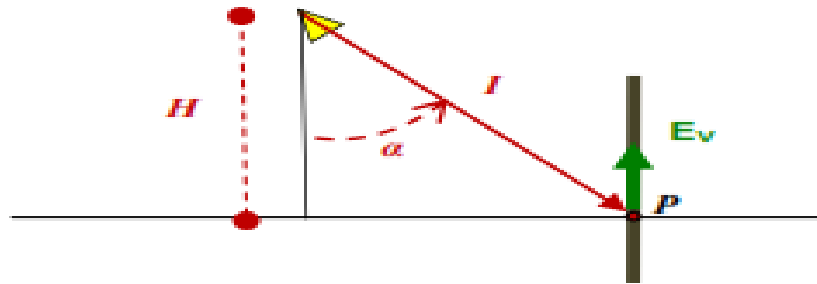
Una fuente de luz puntual. En este caso las componentes de la iluminancia se determina usando formulas.

Donde la intensidad (I) luminosa de la lámpara en la dirección del punto que puede obtenerse de los diagramas polares de la luminaria y/o de la matriz de las intensidades y altura (h) del plano de trabajo del alumbrado.



**Fig29.** En el plano horizontal.

$$E_H = \frac{I * \cos^3 \alpha}{H^2} \dots\dots\dots (5)$$



**Fig30.** En el plano vertical.

$$E_v = \frac{I * \cos^2 \alpha * \operatorname{sen} \alpha}{H^2} \dots\dots\dots(6)$$

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).

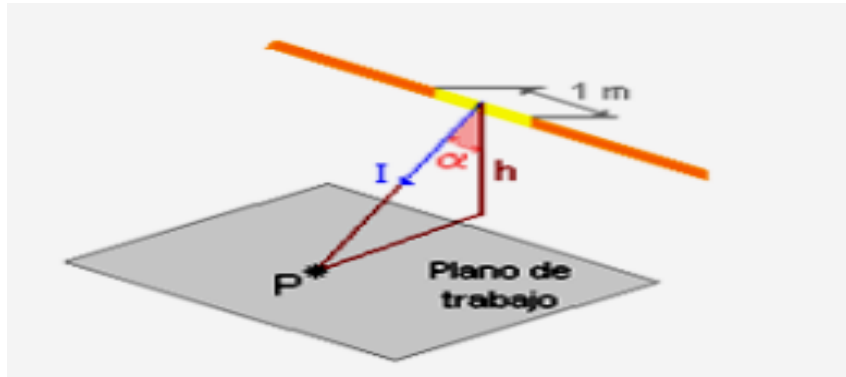
$I$  = intensidad de flujo luminoso según la dirección del punto a la fuente. Puede obtenerse de los diagramas polares de la luminaria o de la matriz de intensidades que generalmente proporciona el fabricante de luminarias en (candelas).

$\alpha$  = 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).

### 3.5.2. Fuente de luz lineal de longitud infinita.

Una fuente de luz lineal es infinita si su longitud es mucho mayor que la altura de montaje. En este caso se puede demostrar por cálculo diferencial que la luminancia en un punto para una fuente de luz difusa se puede expresar de la siguiente manera.



**Fig31.** Plano de una fuente de luz lineal infinita.

$$E_H = \frac{\pi l}{2h} * \cos^2 \alpha \dots\dots\dots (7)$$

$$E_H = \frac{\pi l}{2h} * \text{sen} \alpha * \text{cos} \alpha \dots\dots\dots (8)$$

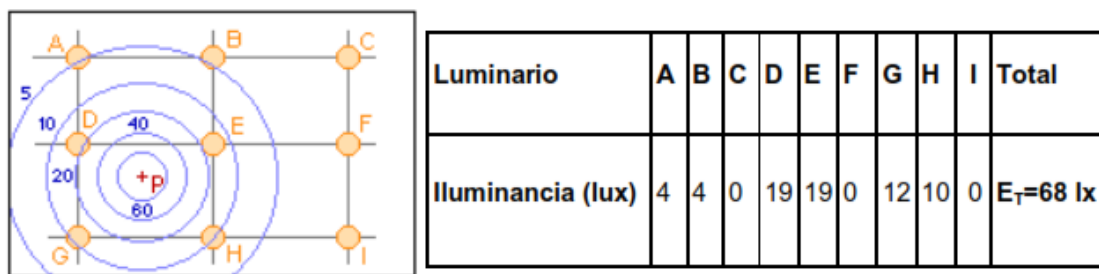
En los extremos de la hilera de las luminarias el valor de la luminancia será la mitad.

**3.5.3. Calculo de las iluminancias horizontales empleando curvas isolux.**

Este método grafico permite obtener las luminancias horizontales en cualquier punto del plano de trabajo de forma rápida y directa para ello necesitaremos:

- La curva isolux de la luminaria suministradas por el fabricante (fotocopiadas sobre el papel vegetal o transparencia). Si no disponemos de ellas, podemos trazarlas a partir de la matriz de intensidades o de las curvas polares, aunque esta solución es poco recomendable si el número de puntos que nos interesa calcular es pequeño o no disponemos de un programa informático que lo haga por nosotros.

- El procedimiento de cálculo es el siguiente sobre el plano de la planta situamos el punto o los puntos en los que queremos calcular la iluminancia. A continuación colocamos el diagrama isolux sobre el plano, haciendo que el centro coincida con el punto, y se suman los valores relativos de las luminancias debidos a cada una de las luminarias que hemos obtenido a partir d la intersección de las curvas isolux con las luminarias.



**Fig32.** Diagrama isolux sobre un plano [17].

### 3.5.4. El incremento del Umbral (Ti).

El incremento umbral (Ti) se calcula, en base al incremento del porcentaje en la diferencia de luminaria necesaria para volver a ver el objeto en presencia del deslumbramiento, respecto a la diferencia de luminancia necesaria para ver el objeto en ausencia del deslumbramiento.



**Fig33.** Deslumbramiento perturbador [17]

$$TI=65 * \frac{L_V}{(L_m)^{0,5}} \dots\dots\dots (9)$$

$$L_V=k * \sum_{i=1}^n \frac{E_{ojo}}{\theta_i^2} \dots\dots\dots (10)$$

$L_V$ : Luminancia de velo equivalente.

$L_m$ : Luminancia media de la calzada.

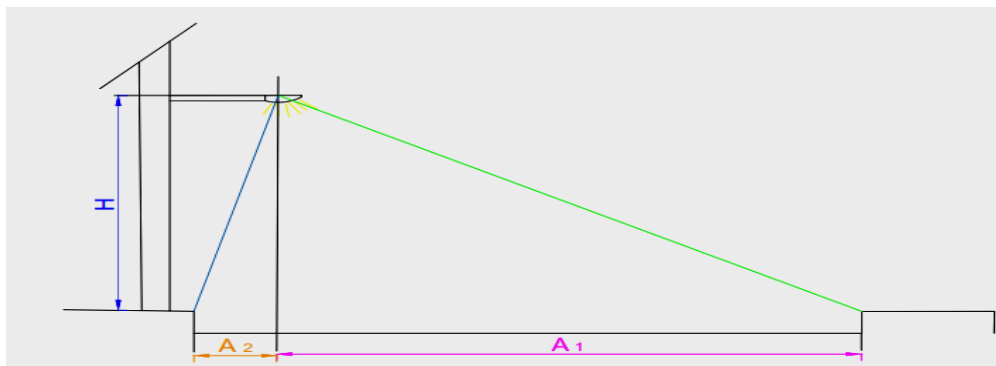
**K**: es una constante que depende de la edad del individuo su valor es de  $10^\circ$  ó  $3 * 10^{-3} \text{rad}$ .

$E_{ojo}$ : Es la iluminancia sobre el ojo perpendicular a la dirección visual.

$\theta$ : Es el ángulo formado por la dirección visual y el rayo de luz deslumbrante.

### 3.5.5. Coeficiente del factor de utilización de la vía.

El factor de utilización es una medida del rendimiento de una luminaria o el conjunto de lámparas y se define como el cociente entre el flujo útil  $\Phi_u$ , el que llega a la calzada, y el emitido por la luminaria  $\Phi_L$ . Permite realizar cálculos manuales de iluminancia media sobre una vía de una manera rápida.



**Fig34.** Coeficiente o factor de utilización. [\*]

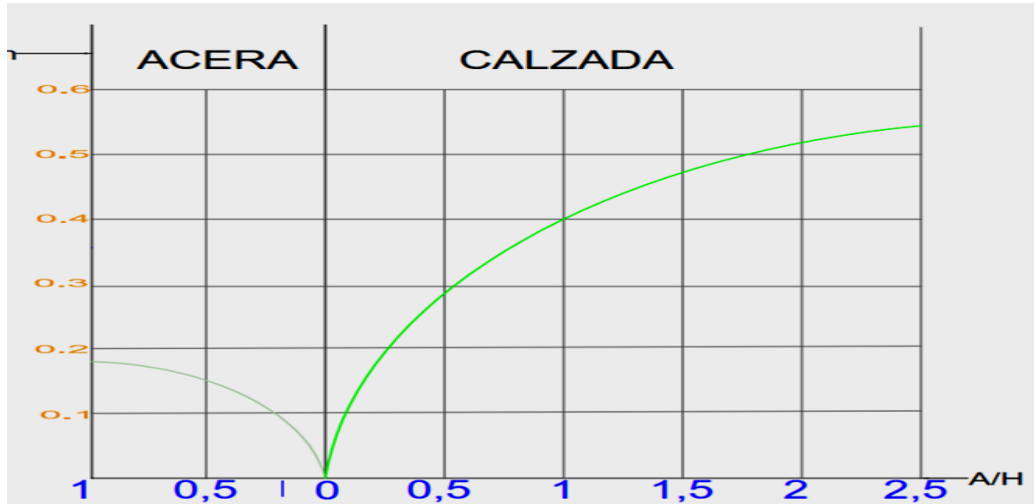


Fig35. Coeficiente del factor de utilización. [\*]

$$E_m = \frac{\eta * F_m * \phi_L}{A * d} \dots\dots\dots (11)$$

Donde:

$E_m$  = Iluminancia media (lux).

$\eta$  = Coeficiente de utilización total

$F_m$  = Factor de mantenimiento (adicional)

$\phi_L$  = Flujo luminoso de la lámpara

$A$  = Ancho de la vía o calzada

$d$  = Distancia interpostal o entre postes

- El eje (A/H) representa la distancia horizontal abarcada por la luminaria, tanto del lado de la calzada como del lado de la acera. (de esta manera se recorre todo el ancho de vía).
- El eje ( $\eta$ ) representa el coeficiente de utilización , el cual consta de dos componentes:

- La curva de coeficiente de utilización del lado de la calzada ( $\eta_1$ ).
- La curva del coeficiente de utilización del lado de la acera ( $\eta_2$ ).

La suma de los dos coeficientes anteriores da como resultado el coeficiente de utilización total, denominada  $\eta$ .

### **3.5.6. Aplicación del método punto por punto para la iluminación público.**

Para aplicar este tipo de métodos de punto por punto se tiene que considerar los siguientes aspectos.

- La clasificación de la carretera o calle (perfiles de la vía)
- El nivel de iluminación apropiado según la clasificación.
- La selección de luminaria de acuerdo a la distribución de luz requerida.
- El apropiado emplazamiento del luminario (altura de montaje, longitud del brazo y separación entre luminarias) para proporcionar la iluminación requerida en cantidad y calidad.
- Cálculos luminotécnicos.

### **3.5.7. Condiciones de una buena iluminación.**

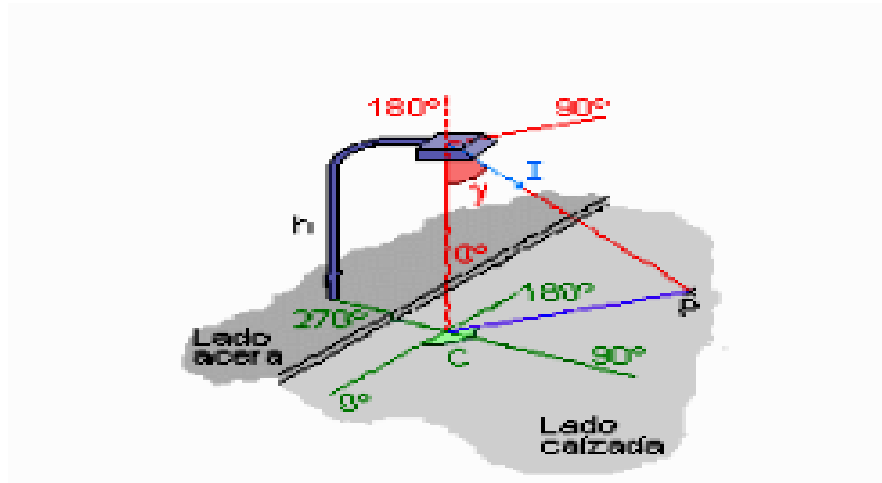
Los criterios de una buena iluminación la calidad más importante para una instalación de alumbrado público desde el punto de vista de seguridad del tráfico y percepción visual.

### **3.5.8. Nivel de iluminancia.**

La luminancia indica la cantidad de luz que llega a una superficie y se define como el flujo luminoso recibido por una unidad de superficie.



$$E = \frac{d\Phi}{ds} \dots\dots\dots (12)$$



**Fig36. Iluminancia en el punto P**

Si la expresamos en función de la intensidad nos queda como:

$$EH = \sum_{i=1}^n \frac{I(C_i, \gamma_i)}{h_i^2} \cos^3 \gamma_i \dots\dots\dots (13)$$

Donde la I es la intensidad recibida por el punto P en la dirección definida por el par de ángulos (C, g) y h la altura del foco luminoso. Si el punto está iluminado por más de una lámpara la iluminancia total recibida entonces hay que calcular el nivel de iluminancia.

**3.5.9. Iluminancia en un punto.**

La iluminancia en un punto de una vía cualquiera, se calcula sumando las luminancia de todo las luminarias que aporten a ese punto. Las luminancias se pueden obtener de la curva isolux proporcionadas por el fabricante, en las cuales indica las luminancia máxima representada en una ecuación.

$$E_p = E_l \frac{a * \Phi_L * n}{h^2} \dots \dots \dots (14)$$

Donde:

$E_p$  = Iluminancia relativa en el punto P (curva isolux)

$E_l$  = flujo luminoso de la lámpara.

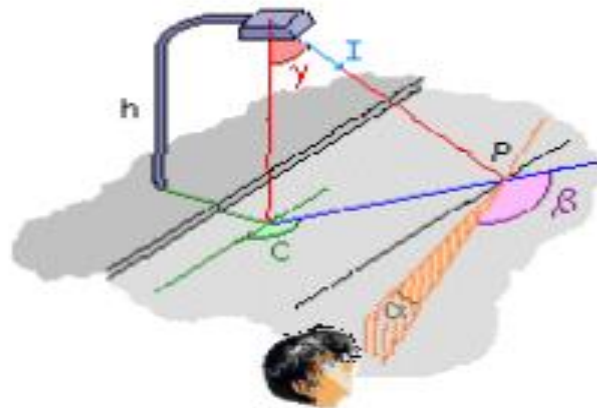
$a$  = factor por el tipo de luminaria.

$n$  = numero de lámparas dentro de la luminaria.

$h$  = altura de montaje de la luminaria.

### 3.5.10. Nivel de luminancia.

Esta luz proviene de la reflexión que sufre la luminancia cuando incide en los cuerpos. Se puede definir como la porción de intensidad luminosa por unidad de superficie que es reflejada por la calzada en dirección al ojo. El nivel de luminancia en la superficie de una calzada influye sobre la sensibilidad a los contrastes del ojo del conductor, y por consiguiente sobre la seguridad de percepción.



**Fig37.** Iluminancia percibida por el observador.

$$L = q(\beta, \gamma) \dots \dots \dots (15)$$

Donde **q** es el coeficiente de iluminancia en el punto **P** que depende básicamente del ángulo de incidencia **g** el ángulo entre el plano de incidencia y el de observación **b**. el efecto del ángulo de observación **a** es despreciable para la mayoría de los conductores (automovilista con campo visual entre 60 y 160m por delante y una altura de 1.5m sobre el suelo).

$$L = \frac{I(C; \gamma) * \cos^3 \gamma}{h^2} * q(\beta, \gamma) \dots \dots \dots (16)$$

Por comodidad del cálculo, se define el término.

$$r(\beta, \gamma) = q(\beta, \gamma) * \cos^3 \gamma \dots \dots \dots (17)$$

Quedando finalmente como:

$$L = \frac{q(\beta, \gamma) r(\beta, \gamma)}{h^2} \dots \dots \dots (18)$$

### 3.5.11. Coeficiente de uniformidad.

Como criterios de calidad y evaluación de la uniformidad de la iluminación en la vía se analizan el rendimiento visual en términos de un coeficiente global de uniformidad **U<sub>0</sub>** y la comodidad visual mediante el coeficiente longitudinal de uniformidad **U<sub>1</sub>**.

$$U_0 = \frac{L_{min}}{L_{min} U_1} = \frac{L_{min}}{L_{max}} \dots \dots \dots (19)$$

### 3.5.12. Deslumbramiento.

El deslumbramiento producido por la farola o los reflejos por la calzada, es un problema considerable por sus posibles repercusiones. En sí mismo no es más que una sensación molesta que dificulta la visión, en casos extremos puede llegar a provocar ceguera transitoria.

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 en datos estadísticos que va del deslumbramiento insoportable al inapreciable.

Deslumbramiento	Evaluación del alumbrado
Insoportable	Malo
Molesto	Inadecuado
Admisible	Regular
Satisfactorio	Bueno
Inapreciable	Excelente

**Tabla3** Tipo de deslumbramiento

### 3.5.13. Coeficiente de iluminación en los alrededores (SR).

Es una medida de la iluminación de las zonas circundantes a la vía. Esto tiene la finalidad de asegurar que los objetos, vehículos y peatones que se encuentren allí sean visibles para los conductores. Y esta se calcula mediante la obtención de la iluminancia media (Lm) de una extensión.

### 3.6. Cálculo para determinar la altura de montaje y distancia entre postes por medio del método punto por punto.

Ya que este método calcula la iluminancia en un punto determinado, sólo bastará realizar el cálculo en un solo punto porque la luminaria que se propone tiene una óptica ó reflectancia difusa lo cual nos lleva a tener niveles de iluminación sostenidos. El cálculo se realizará en el punto más alejado a donde está montado el luminario, este punto será exactamente a la mitad de la distancia entre postes.

#### Consideraciones técnicas recomendadas para el dimensionamiento de altura e distancia entre postes.

Clase de iluminación	Altura (m)	Relación S/H	Disposición de las luminarias	Disposición
			Criterios	
M1	10-12	2,5- 3	dos carriles de circulación	Unilateral- bilateral
			tres carriles de circulación	alternada - bilateral
			cuatro carriles de circulación	Opuesta
M2	8,5 – 10	3-4	dos carriles de circulación	Unilateral- bilateral
			tres carriles de circulación	alternada - bilateral
			cuatro carriles de circulación	Opuesta
M3	8,5 – 10	3-4	Ancho de la calzada menor o igual a la altura de las luminarias.	Unilateral- bilateral
			Ancho de la calzada entre 1 y 1,5 veces la altura de las luminarias.	alternada - bilateral
			Ancho de la calzada mayor a 1,5 veces la altura de las luminarias.	Opuesta
M4	7-10	3-5	Unilateral	
M5	3-6	4-5	A criterio del diseñador	

**Tabla 4.** Especificaciones técnicas de iluminación.

Para este caso tomaremos la iluminación de tipo **M4 y M5 unilateral**, disposición debe escogerse teniendo en cuenta las condiciones locales del lugar de arbolización y jardines, la iluminación en las vías oscuras camino a la universidad católica, hospital y colegio nocturno, ya que en la calle se tiene 6m las aceras de 1m cada una.

Como regla general los postes deben alinear paralelamente al eje de la vía, se recomienda por seguridad una distancia no inferior a 60 cm del borde del sardinel.

### **3.6.1. Características principales de la luminaria led.**

Esta lámpara de alumbrado público en LED es una lámpara tradicional de alumbrado público. Utiliza LED de alto poder de (30W ~ 100W) como fuente de iluminación y puede suplir sus necesidades especiales de iluminación. Comparando con las luces de alumbrado público en sodio, puede ahorrar entre un 50% ~ 75% en energía eléctrica.



**Fig38.** Descripción de la luminaria led ofertada.

a) Descripción de la luminaria.

- **Cuerpo.** Inyección de aluminio acabado pintura poliéster de aplicación electroestática acabado color gris acero con protección contra rayos UV y ambientes marinos.
- **Soporte.** Polímero de ingeniería de alta resistencia de rayos UV.
- **Tornillería.** De seguridad acero inoxidable.
- **Foto sensor.** Omnidireccional electrónico integrado.
- **Tapa.** Polímero de ingeniería de alta resistencia mecánica color gris acero.
- **Pantalla.** Polímero de ingeniería de alta resistencia mecánica.
- **Grado de protección.** IP65.
- **Peso.** 3800gr.

b) Características eléctricas.

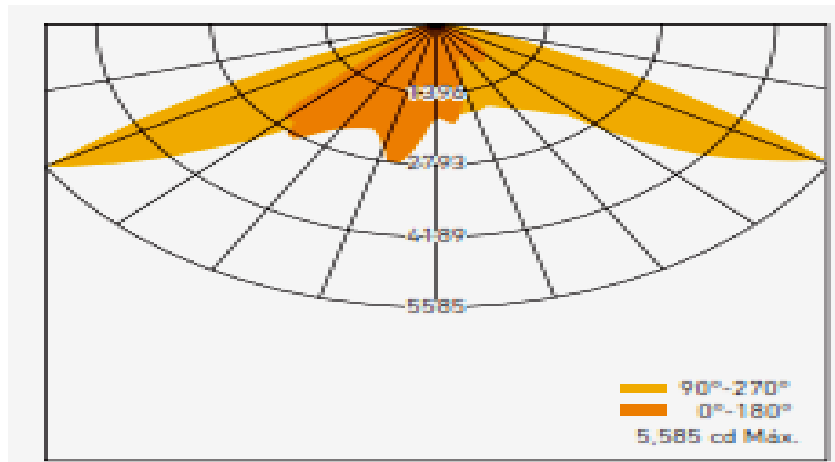
- **Fuente.** Driver electrónico AFP, interno vida útil 50.000 Hrs.
- **Rango de tensión.** 12 – 24V. ó 110 – 230V.
- **Frecuencia de operación.** 50/60 Hz.
- **Potencia.** 50W.
- **Factor de potencia.** > 0,9
- **Distorsión armónica total.** < 20%

c) Fuente luminosa.

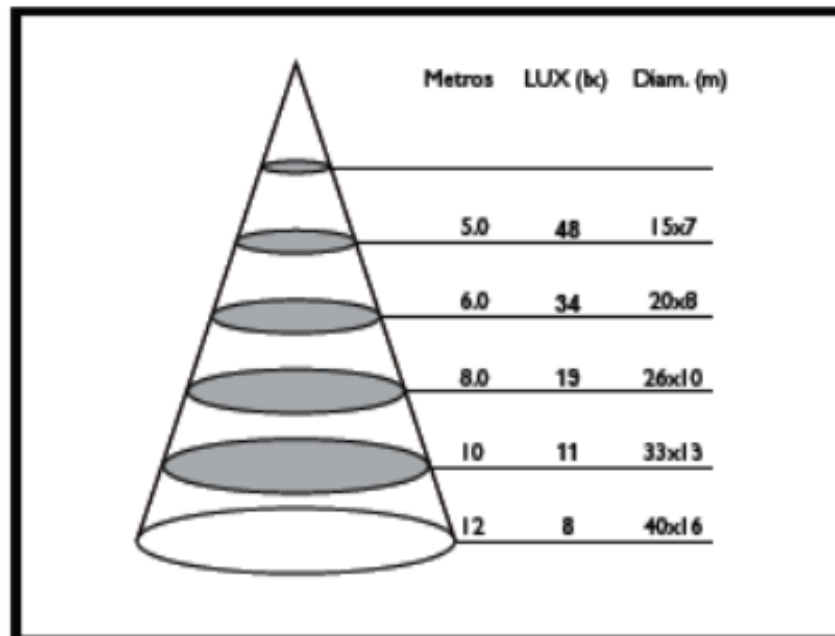
- **Tipo.** Led bridge lux
- **Temperatura de color.** 5000K.
- **Flujo luminoso.** 5500 lm.
- **Índice cromático.** IRC > 80.

- **Vida útil.** 50.000 Hrs.

d) Fotometría.



**Fig39.** Eficiencia de la luminaria 110lm/W [20]



**Fig40.** Diagrama de iluminancia [20]



e) dimensiones

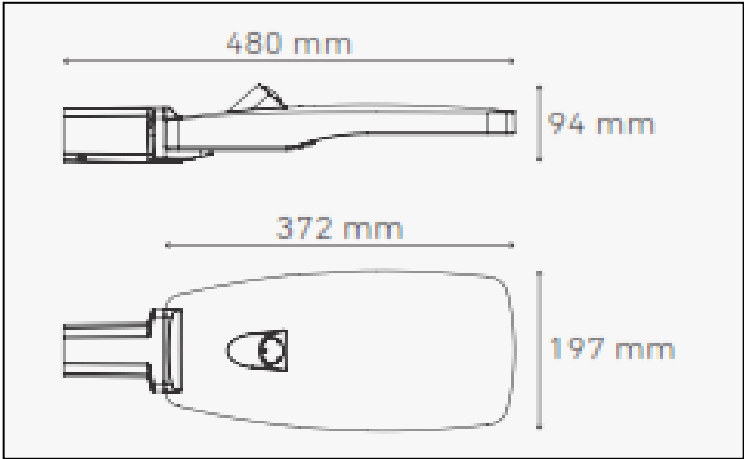


Fig41. Dimensiones [20]

f) Isolíneas.

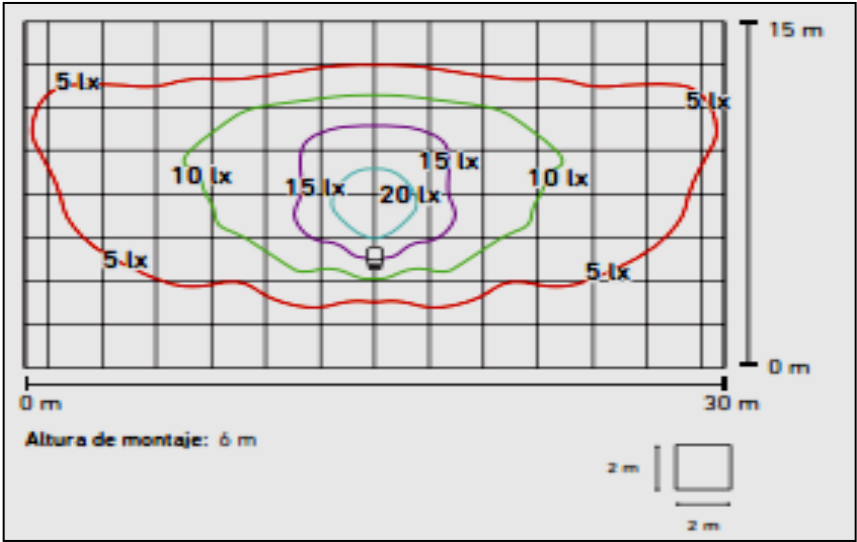
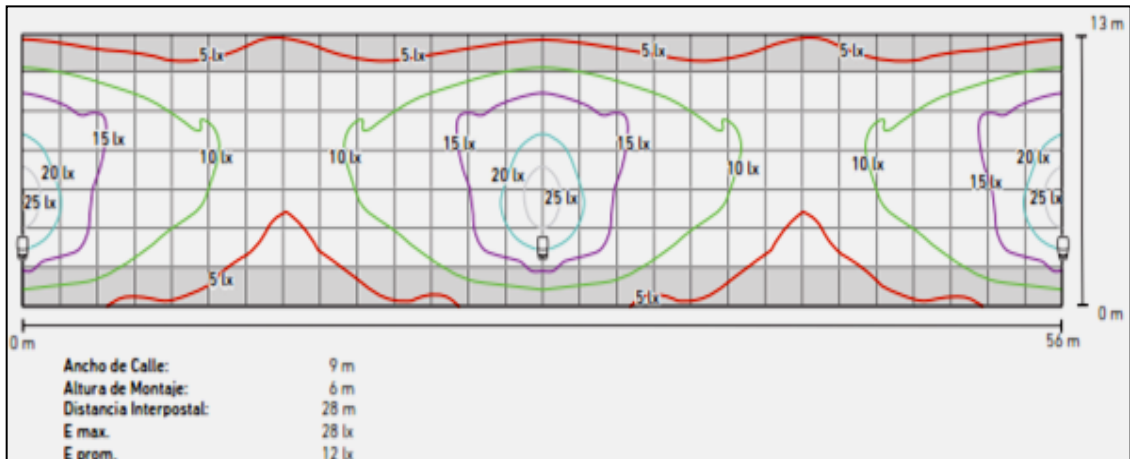


Fig42. Luminaria individual [20]



**Fig43.** Arreglo de tres luminarias [20]

### 3.6.1.1. Nivel de protección.

El índice de protección es un estándar internacional de la Comisión Electrotécnica Internacional 60529 que clasifica el nivel de protección que provee una aplicación eléctrica contra la intrusión de objetos sólidos o polvo, contactos accidentales o agua. El resultado es el Índice de protección (IP) la explicación a las letras IP es dada la norma IEC 60529, donde se identifica por un código que consiste en las letras IP seguidas por dos dígitos y/o una letra. Los dígitos ("números característicos") indican la conformidad con las condiciones resumidas en las tablas. Cuando no hay índice de protección descrito con arreglo a este criterio, el dígito puede ser reemplazado por una letra X.

### 3.7. Determinar la carga instalada.

Adicional a los requerimientos específicos, el alumbrado público debe cumplir los principios generales de iluminación según establecido **NB 81003:2008** luminarias para sistemas fotovoltaicos.

**a) Datos de la carga (luminaria tipo Led)**

Potencia = 50 [W].

Flujo luminoso = 5500 [lúmenes].

Eficiencia = 110 [lm/w].

Tensión = 12 -24 [V].

**b) Calculo de iluminancia en el punto (Ea).** Según la tabla de N° 4 de la especificaciones técnica de iluminación, determinamos del tipo **M4 y M5 unilateral.**

- Distancia entre postes = (4-6) m. Donde la distancia será la relación S/H (4\*5.5) = **22 m.**
- Altura de montaje de la luminaria (4-7) m = se tomara una altura de 5.5m ya que el flujo luminoso es de 5500Lm y la reflectancia en el lugar es baja por el tipo de piso.

La iluminancia en un punto parte de la formula dada por la ley de coseno que es aplicada al geometría del sistema.

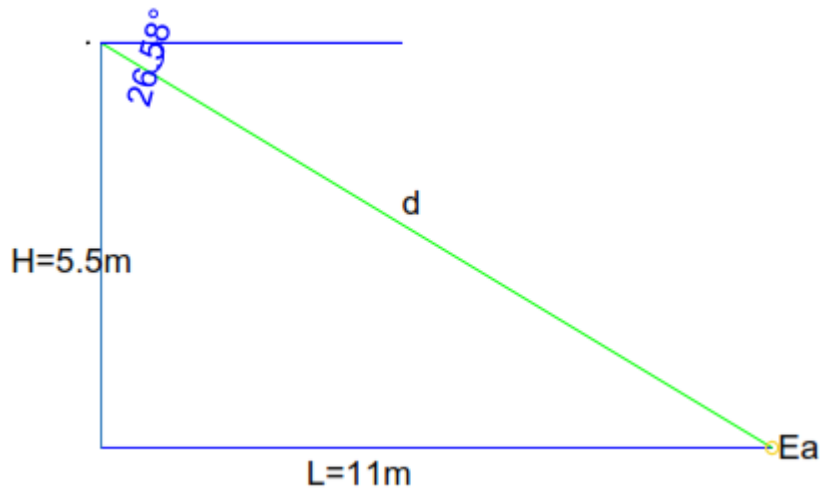
$$E_a = \frac{Cd * \cos\theta}{d^2} \dots\dots\dots (20)$$

**E<sub>a</sub>** = Luminancia [lux]

**Cd** = Intensidad Luminosa [Cd]

**d** = Distancia [m]

**θ** = Ángulo.



$$D=(L^2 + H^2)^{1/2}..... (21)$$

$$D=(11^2 + 5.5^2)^{1/2}= 12.29 \text{ m}$$

$$\Theta = \text{sen}^{-1} \frac{H}{D}..... (22)$$

$$\Theta = \text{sen}^{-1} \left( \frac{5.5}{12.29} \right) = 26.58^\circ$$

**c) Intensidad luminosa.**

La intensidad luminosa de una fuente de luz en una dirección dada es la relación que existe entre el flujo luminoso contenido en un Angulo solido cualquiera cuyo eje coincida con la dirección considerada y el valor de dicho ángulo solido expresado en estereorradianes su unidad es la candela. El 0,67 es un coeficiente de superficie estándar del tipo de suelo.

El ángulo de observación desde la horizontal se fija en 1°. En la dirección transversal el observador se sitúa en el centro de cada carril de circulación y longitudinalmente a 60 m a partir del primer punto.

$$I = \frac{\phi}{W} \dots\dots\dots (23)$$

**PARA EL LED**      **1Lumen = Cd \* 0,67 \* SR**..... (24)

$$W \sim SR = \frac{60 \cdot 4\pi}{360} = 2.094 \text{Str.}$$

De la ecuación (14) se tiene:  $I \sim Cd = \frac{5500}{0,67 \cdot 2.094} = 3920.23 \text{Cd.}$

**Luminancia para el punto máximo con luminaria de 50w - 5500 Lm**

Cos 26,58° = 0,89 reemplazando estos datos obtenidos en la ecuación (21) se tiene.

$$E_a = \frac{3920.23 \cdot 0.89}{(12.29)^2} = 23.14 \text{ lux.}$$

**d) Calculando la luminancia media.**

$$E_m = \frac{\eta_T \cdot F_m \cdot \Phi_L}{A \cdot d} \dots\dots\dots (25)$$

Donde:

$E_m$  = iluminancia media (Lux).

$\eta_T$  = coeficiente de utilización total.

$F_m$  = factor de mantenimiento adicional.

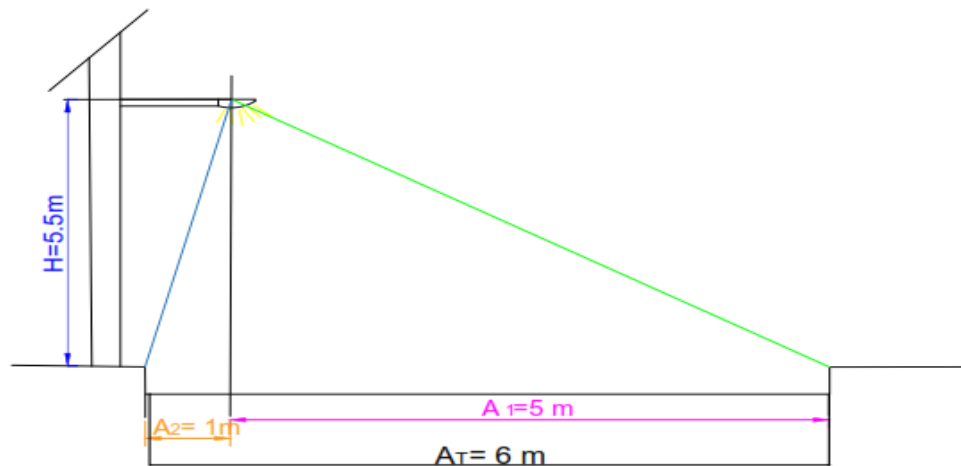
$\Phi_L$  = flujo luminoso de la lámpara (Lm).

A = ancho de la vía o de la calzada (que se desee iluminar)

d = distancia interpostal (m).

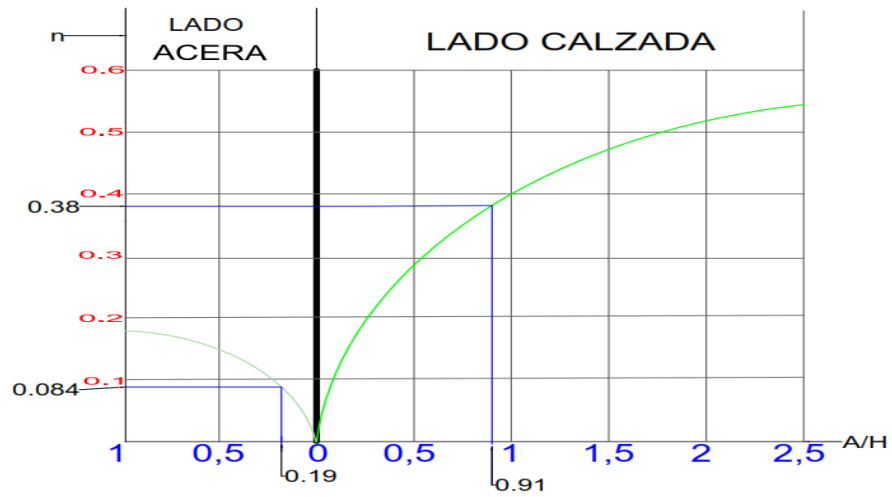
Calculando el factor de utilización según la **fig. 34**.

$A_1 = 5\text{m}$ .  $A_2 = 1\text{m}$ .  $H = 6\text{m}$



$$\frac{A_1}{H} = \frac{5}{5.5} = 0.91 \quad \leftrightarrow \quad \eta_1 = 0.362.$$

$$\frac{A_2}{H} = \frac{1}{5.5} = 0.18. \quad \leftrightarrow \quad \eta_2 = 0.082.$$



$$\eta_T = \eta_1 + \eta_2 \rightarrow \eta_T = 0.38 + 0.084$$

$$\eta_T = 0.464.$$

De la ecuación (25)

$$E_m = \frac{\eta_T * F_m * \Phi_L}{A * d}$$

Remplazando valores en la ecuación (25)

$$E_m = \frac{0,464 * 0,7 * 5500}{6 * 22}$$

**Luminancia para el punto medio con luminaria de 50w - 5500 Lm**

$$E_m = 13.53 \text{ lux}$$

### **3.8. Dimensionamiento del panel solar fotovoltaico.**

El sistema autónomo de alumbrado público, el cual está enfocado básicamente para la electrificación rural que están alejados de la red de distribución, destinada a servicios como la iluminación pública de calles, parques, canchas y rutas de transportes. Por lo tanto aprovechando la condición geográfica del municipio de Escoma se aprovecha la incidencia de rayos solares, para la obtención de energía eléctrica fotovoltaica, lo cual se utilizará para alimentar este sistema de alumbrado público.

El dimensionamiento del sistema fotovoltaico consiste en realizar un estudio de energía, **llamado balance de energía**, para determinar la capacidad de la batería y del arreglo de los paneles solares necesarios para el alumbrado público.

#### **3.8.1. Recopilación de información de las características geográficas y meteorológicas de la zona.**

Para dimensionar el sistema autónomo fotovoltaico necesitamos acerca de las horas efectivas del sol (HES) que recibirá el arreglo de paneles en el día. Y (HES) es el numero de equivalencia de horas en las que el panel solar recibe el nivel de radiación máximo de 1 Sum ( $1000 \text{ W/m}^2$ ) equivalentes en un día de radiación. Dado que la radiación en un día varía desde que amanece hasta que anochece es por esta razón que es necesario calcular la energía total recibida en un día y este valor se calcular las horas que equivalen a una radiación constante de 1Sum (HES).

Para obtener los datos de radiación es preciso establecer la ubicación de la zona, para la vialidad del proyecto.

Longitud: 69° 03' 51"

Latitud: 15° 45' 19"



La orientación de los paneles solares será tal que éstos se dispongan siempre "mirando" hacia el ecuador terrestre. Esto supone orientación sur para aquellas instalaciones situadas en el hemisferio norte terrestre.

Y orientadas hacia el norte para las instalaciones situadas en el hemisferio sur. No obstante, son admisibles unas desviaciones de hasta  $\pm 20^\circ$  respecto del ecuador del observador sin que se produzcan grandes pérdidas de rendimiento.

La estación meteorológica más cercana, es el observatorio de Carabuco lo cual proporciono para este proyecto información de radiación ó insolación en el periodo de los 5 años (2010- 2015), en las estaciones como **Senamhi** no se encuentra información acerca de la (HES), pero sí de la insolación del lugar. La radiación total que llega a la superficie cuyas componentes son:

- Radiación solar directa, formado por los rayos procedentes directamente del sol.
- Radiación solar difusa, formado por los rayos originados por efectos de dispersión de los componentes de la atmosfera incluyendo a las nubes.
- Radiación terrestre, formada por los rayos originados por los efectos de reflexión en el suelo.

Para 32 estaciones en Bolivia. Para este proyecto del Municipio de Escoma la radiación es la siguiente:

	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>	<b>MEDIA</b>
<b>[kWh/m<sup>2</sup>dia]</b>	5.5	5.4	5.2	5.2	5.1	4.9	4.7	4.6	5.5	6.0	5.8	5.6	5.29

**Tabla 5.** Radiación solar de escoma.

Para el dimensionamiento de los paneles se utiliza el método de la media de radiación solar. En la tabla anterior se puede observar que la radiación solar la media 5.29 [kWh/m<sup>2</sup>dia].

La insolación solar día en horas se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$I_n = \frac{\text{Radiacion Media} \left( \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{dia}} \right)}{\text{Potencia Nominal} \left( \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2 \text{dia}} \right)} \dots\dots\dots (26)$$

La potencia nominal que utilizan los fabricantes de paneles es de 1 kW/m<sup>2</sup>dia, por lo que la insolación será:

$$I_n = \frac{5,29}{1} = \mathbf{5,29 \text{ horas día}}$$

Cabe destacar que existe un factor de corrección de la radiación total directa difusa (RTDD), esto hace debido a que el panel siempre va a tener una inclinación y de acuerdo a esta la radiación que reciba va variar. Este factor es suministrado en tablas productos de mediciones experimentales al igual que la radiación se obtiene un valor cada mes.

**3.8.2. Cuantificación de la necesidad diaria de energía tiempo de potencia nominal (T<sub>PN</sub>).**

Este sistema fotovoltaico el concepto de “tiempo de potencia nominal y horas del sol pico” es equivalente a la energía recibida durante una hora, a una irradiación promedio de 1000W/m<sup>2</sup>dia. Y esta dado por la siguiente ecuación.

Energía = Potencia \* tiempo de utilización.

**Energía = 50W. \* 11Hrs.**

**Energía Total Requerida = 550Wh. Por Poste.**

$$T_{PN} = \frac{E_D}{P_N} \dots\dots\dots(27)$$

- **$E_D$** : Es la energía disponible.
- **$P_N$** : Es la potencia nominal de 1000W/ m<sup>2</sup>dia , medida utilizada por los fabricantes, para determinar la máxima potencia de salida de los módulos fotovoltaicos.
- Se debe determinar el consumo energético real (**CE**), el cual incluye algunos factores de pérdidas, asociados a la operación del sistema.

El consumo energético real se determina a partir de la expresión:

$$CE = \frac{E_T}{R} \dots\dots\dots(28)$$

Donde **R** es el parámetro de rendimiento global del sistema fotovoltaico, definido por la expresión:

$$R = (1 - K_b - K_c - K_v) * (1 - \frac{K_a * N}{P_N}) \dots\dots\dots(29)$$

Dónde:

- **K<sub>b</sub>**: Coeficiente de pérdidas por rendimiento del acumulador (batería). Se considera 0.05 en sistemas que no demanden descargas intensas, y 0.1, en sistemas con descargas profundas.

- **Kc:** Coeficiente de pérdidas en el inversor (0.05 para inversores de señal sinodal pura, y 0.1 en caso contrario).
- **Kv:** Coeficiente de pérdidas misceláneas (reúne pérdidas por efectos de calentamiento, y rendimiento de los conductores del sistema). El valor de este coeficiente oscila entre 0.05-0.15.
- **Ka:** Coeficiente de auto-descarga diaria (depende del tipo de batería seleccionada).
- **N:** Número de días de autonomía (días en los cuales el sistema es capaz de suministrar energía a las cargas, sin el aporte energético de los paneles).
- **Pd:** Profundidad de descarga diaria de la batería. Este parámetro mide el porcentaje de descarga de la batería.

Para el desarrollo de los cálculos, se consideran parámetros con los siguientes valores:

$$\mathbf{Kb = 0.1; Kc = 0.05; Kv = 0.1; Ka = 0.005; N = 1; Pd = 0.8}$$

Como este sistema solo va a trabajar con VDC no es necesario usar inversor por lo tanto **kc** = 0. El valor del coeficiente de auto descarga diaria (Ka), se considera, teniendo en cuenta que la batería implementada en el Sistema Fotovoltaico, es de Pb-ácido.

$$\mathbf{R = (1 - 0,1 - 0 - 0,1) * \left(1 - \frac{0,005 * 1}{0,75}\right)}$$

$$\mathbf{R = 0,79}$$

Entonces:

$$CE = \frac{550 \text{ Wh/día}}{0,79}$$

$$\boxed{CE = 696.20 \text{ Wh/día}}$$

### 3.8.3. Potencia Requerida ( $P_{REQ}$ ).

$$P_{req} = \frac{E_{dr}}{T_{PN} * 0.8} \text{ (W)} \dots\dots\dots (30)$$

$E_{dr}$ : es la energía diaria requerida en wh/día.

**0.8**: Es el factor de compensación por perdidas del sistema fotovoltaico.

Si consideramos la energía requerida, como 696.20Wh/ día por tanto se tiene.

$$P_{req} = \frac{696.20 \text{ wh/día}}{5,29 * (\frac{h}{día}) * 0.8} = 164,5 \text{ W.}$$

Teniendo esta potencia requerida podemos obtener la cantidad de paneles necesarios para este sistema, tomando en cuenta las potencias de los paneles comerciales son de 50W, 63W, 100W, 120W, 130W, 150W, 200W, etc.

$$N_{FV} = \frac{P_{REQ}}{P_{PP}} \dots\dots\dots (31)$$

$$N_{FV} = \frac{164.5 \text{ W}}{150W} = 1,09 = \sim 1 \text{ panel fotovoltaico}$$

Para este caso tomaremos el panel de 150W entonces sus características o especificaciones son:

Modulo fotovoltaico ATERSA A- 150P poli cristalino.

Especificaciones:

- Potencia del Panel Solar: 150W
- Tipo de Célula del Panel Solar: Policristalino
- Rigidez del Panel Solar: Rígido
- Dimensiones del Panel Solar: 1476 x 659 x 35 mm
- Tensión Máxima Potencia: 17.84V
- Corriente en Cortocircuito ISC: 8.69A
- Eficiencia del Módulo: 15.42%
- Amperios Máximos de Salida IMP: 8.41A
- Tensión en Circuito Abierto: 22,6V
- Voltaje de Trabajo del Panel Solar: 12V
- Peso del Panel Solar: 11.9 Kg
- Marco del Panel Solar: Blanco y Gris
- Garantía del Panel Solar: 25 años

### **3.9. Dimensionamiento De La Batería.**

Profundidad de la descarga.

Es el porcentaje de capacidad local que es utilizado durante un ciclo de carga/descarga eléctrica permisible de las baterías, está prevista por los fabricantes para garantizar la vida útil especificado en las características del modulo. Cuanto mayor sea la profundidad de descarga, menor es el número de ciclos de carga/descarga que la batería pueda tener.

Las descargas permisibles son:

- baterías auto normativas 20%
- baterías para sistemas fotovoltaicos 50%

El cálculo de la capacidad de la batería lo cual viene dado por la siguiente expresión.

$$CB = \frac{CE * D_{AUT}}{P_{DES} * CORREC * TEMP * CORREC * P_{DESC}} \dots\dots\dots (32)$$

- **CB:** Es la capacidad de la batería en Wh.
- **CE:** consumo energético.
- **D<sub>AUT</sub>:** Días de autonomía (3 a 5 días de uso)
- **P<sub>DESC</sub>:** Profundidad de descarga.
- **CORREC \* TEMP:** Factor de corrección por temperatura igual a 0,95. El comportamiento de las baterías baria con la temperatura, a mayor temperatura la batería es capaz de entregar más energía y viceversa. En la tabla. Se muestra la temperatura por las condiciones climáticas del sitio que se propone instalar el sistema de alumbrado público.

Temperatura [°C]	Factor De Temperatura
> 25	1
< 25	> 1,00

**Tabla 6.** Temperatura.

- **CORREC: P<sub>DESC</sub>:** Factor de corrección de profundidad de descarga igual a 0,9.

Se utilizarán baterías para las aplicaciones fotovoltaicas. Con valores que se obtiene la capacidad de la batería:

De acuerdo al factor de diseño de la batería se tiene:

$$F_D = P_{DES} * CORREC * TEMP * CORREC : P_{DESC}$$

$$F_D = 0,8 * 0,95 * 0,9 = 0,684.$$

Para expresarla en amperios – hora, se divide entre el voltaje de la batería. (12 V).

$$CB = \frac{696.20Wh * 3 \text{ dias}}{0,684}$$

$$CB = 3053.5Wh.$$

$$Ah = \frac{CB}{\text{volatje}} \dots\dots\dots (33)$$

$$Ah = \frac{3053.5 \text{ Wh}}{12 \text{ V}} = 254.45$$

Entonces calculamos el número de baterías para este sistema ya que se tomó la energía adicional requerida.

$$N^{\circ} \text{ BATERIAS} = \frac{CB_{\text{SISTEMA FOTOVOLTAICO}}}{CB_{\text{UPS Ó BATERIA}} \dots\dots\dots (34)$$

$$N^{\circ} \text{ BATERIAS} = \frac{254.45}{230} = 1,1$$



$$N^{\circ}_{BATERIAS} = \sim 1 \text{ Batería.}$$

CARACTERISTICAS GAMA SOLAR						
Modelo	Tensión nominal	Capacidad (Ah)			Medidas (mm)	Peso
	Vcc	Ah/C10	Ah/C20	Ah/C100	ancho x fondo x alto	Kg
S12/6,6 S	12	5,1	5,7	6,6	151*65*98	2,6
S12 /17 G5	12	14,3	15	17	181*76*167	6,1
S12/27 G5	12	23,5	24	27	167*176*126	9,7
S12/32 G6	12	27	28	32	197*132*184	11,2
S12/41 A	12	34	38	41	210*175*175	14,8
S12/60 A	12	47,5	50	60	261*136*230	19
S12/85 A	12	74	76	85	353*175*190	27,3
S12/90 A	12	78	84	90	330*171*236	31,3
S12/130 A	12	104,5	110	130	286*269*230	39,8
S12/230 A	12	190	200	230	518*274*238	70

**Tabla 7.** Características de baterías solares.

Entonces por tablas se tiene el modelo (S12/230A, Ah/C<sub>100</sub>, 12V) cuyas características se ve en la **Tabla 7**.

Las baterías de gel de ciclo profundo de Trojan son baterías selladas, libres de mantenimiento, que proporcionan energía superior ante la demanda de aplicaciones de energía renovable. Diseñadas para alta durabilidad, sobresaliente desempeño y larga vida de la batería, las baterías de gel de ciclo profundo de Trojan presentan un número importante de características de diseño que proveen ventajas significativas sobre los productos de gel de los competidores. El electrolito gelificado es una fórmula patentada que ofrece un rendimiento constante y extiende radicalmente el ciclo de vida útil de la batería. Las rejillas de aleación de plomo proveen mayor vida útil y una resistencia superior a la corrosión, así como una energía más concentrada a los terminales. Sus separadores de doble aislamiento de nivel Premium permiten flujo de carga máxima entre las placas para óptimo desempeño.

### 3.10. Determinación del número de reguladores de carga.

La función del regulador es proteger a la batería contra sobre carga y sobre descarga además para proteger a las cargas en condiciones extremas de operación.

$$N_{REG} = \frac{N_{FV} * I_{CC} * 1.1}{I_{REG}} \dots\dots\dots(35)$$

Donde:

- $N_{REG}$ : es la corriente máxima del regulador.
- **1,1**: Es un coeficiente de seguridad.
- $I_{CC}$  : Es la corriente de corto circuito.
- $N_{FV}$  : Es el N° de paneles solares que se utilizará un regulador con capacidad nominal de amperios.

$$N_{REG} = \frac{1 * 8.69 * 1.1}{10} = 0.95.$$

Por lo tanto se tomara un regulador de **10 amperios**.

### 3.11. Diseño de poste.

En la figura es una muestra el modelo mecánico del poste para la luminaria, es un poste de iluminación de vías públicas.

#### Características.

- ✓ La altura de montaje es de 5 – 7 m según la **NB 1412001-2: 2013** de acuerdo a esto para iluminación en veredas, vías de peatones jardines públicos, parques,

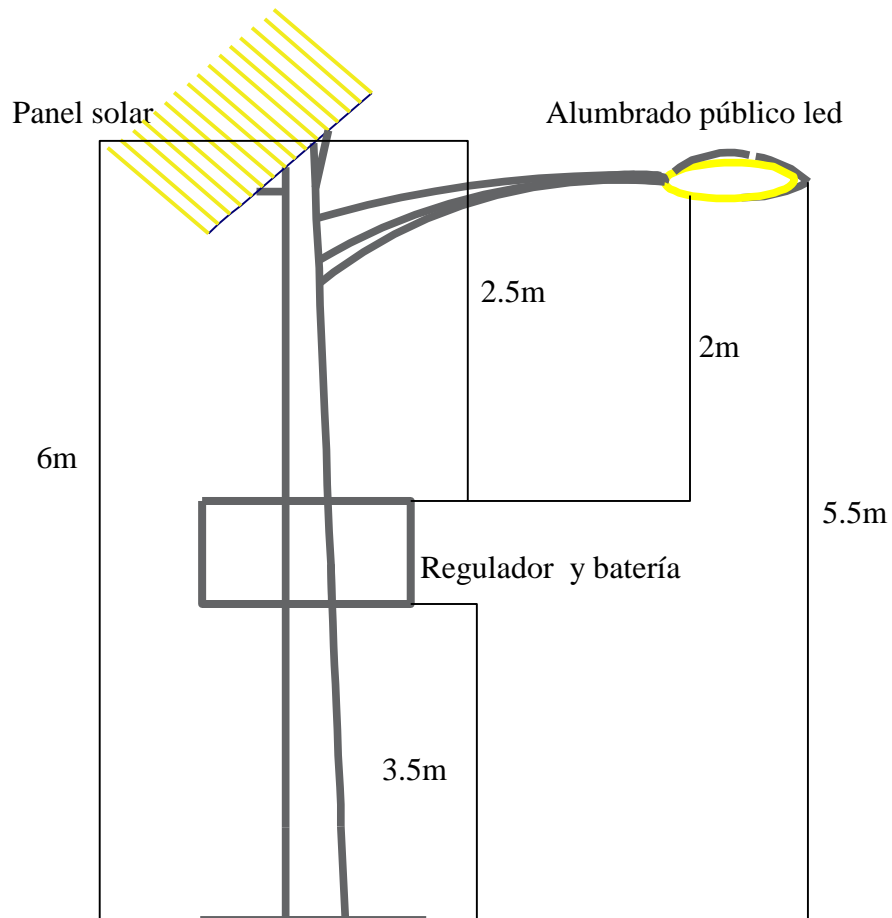
estacionamientos entre otros se permiten alturas de montaje 6m, pero en caso de jardines públicos, parques, calles restringidas no se recomienda alturas menores de 4m.



**Fig.43.** Modelo mecánico de poste.

- ✓ En la parte más alta del poste a 6,5m del suelo se ubica el modulo solar cuya base se presenta la característica de girar 360° horizontalmente, de manera que una vez elegida la ubicación del poste se proceda a orientar hacia el norte, como se explico en los anterior capitulo. Además que se pueda girar en el plano vertical (paralelo al poste) 180° para establecer la inclinación adecuada de acuerdo a la latitud de la zona geográfica en la que se instale.
- ✓ La luminaria en la que va ir el LED es de 50W, es una luminaria específicamente para alumbrado público que cumple con los requerimientos mínimos en la norma.

- ✓ Por último en el poste llevara una base para la caja de control del sistema, en el cual estará la batería y la parte electrónica (regulador). Para este sistema solar como esta, generalmente se ubica la caja de control a una altura considerable del poste de modo que sea poco accesible para el robo de la batería o regulador.



**Fig.44.** Dimensionamiento del alumbrado público. [\*]

### 3.12. Cálculo y selección del cableado.

El cálculo de la sección de los conductores se realiza utilizando la siguiente expresión:

$$S_{\text{CONDUCTOR}} = \frac{2 * L * I}{C * \% \text{REGULACION}} \dots\dots\dots (36)$$

**Donde:**

- **$S_{CONDUCTOR}$** : Sección del conductor  $mm^2$ .
- **L**: longitud del conductor (lo que mide en **metros** un solo conductor).
- **I**: Amperios que van a pasar por el conductor.
- **C**: Constante (para el cobre 56).
- **%REGULACION**: Porcentaje de la caída de tensión permisible (el 1%, 3%, 5%, del voltaje del sistema 12, 24V).

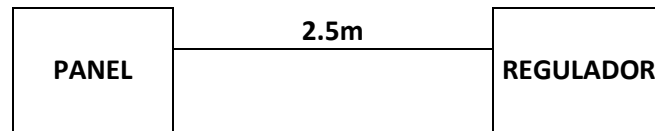
El cálculo de la sección de los conductores, se realiza dependiendo el tramo entre dispositivos, es decir, se realiza el cálculo para el tramo entre el panel y el regulador; el regulador y a la batería o acumulador; y el regulador y la carga y en este caso la luminaria de 50W.

A continuación se muestra en la siguiente tabla, los porcentajes de regulación de voltajes máximos y recomendados según la Norma Boliviana **NB1056** el tramo entre dispositivos.

<b>PORCENTAJE DE REGULACION MAXIMOS Y RECOMENDADOS SEGÚN EL TRAMO DEL CONDUCTOR</b>		
<b>ELEMENTO</b>	<b>MAXIMA</b>	<b>RECOMENDADA</b>
PANEL - REGULADOR	3%	1%
REGULADOR - BATERIA	1%	0,50%
BATERIA - INVERSOR	1%	1%
LINEA DE ILUMINACION	3%	3%
OTROS EQUIPOS	5%	3%

**Tabla 8.** Porcentaje de regulación máximo y recomendado.

- Para el cálculo de la sección del conductor que va del panel al regulador se tiene:



**L:** 2,5 m.

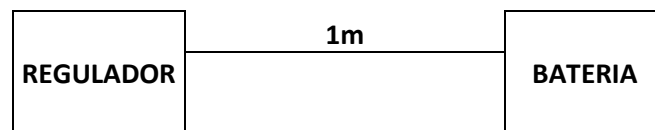
$$\mathbf{I:} \leftrightarrow \frac{150}{12} = 12,5 \text{ Amp.}$$

**Cte.:** = 56.

$$\mathbf{\%regulación:} 3\%. \leftrightarrow 0,03 * 12 = 0,36$$

$$\mathbf{S_{CONDUCTOR}} = \frac{2 * 2,5 \text{ m} * 12,5 \text{ Amp}}{56 * 0,36} = 3,1 \text{ mm}^2$$

- Para el cálculo de la sección del conductor que va del regulador a la batería se tiene:



**L:** 1m.

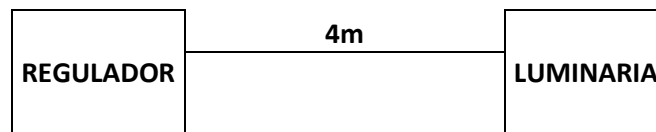
$$\mathbf{I:} \leftrightarrow \frac{150}{12} = 12,5 \text{ Amp.}$$

**Cte.:** = 56.

$$\mathbf{\%regulación:} 1\%. \leftrightarrow 0,01 * 12 = 0,12$$

$$S_{\text{CONDUCTOR}} = \frac{2 * 1\text{m} * 12,5 \text{ Amp}}{56 * 0,12} = 3,72 \text{ mm}^2$$

- Para el cálculo de la sección del conductor que va del regulador a la luminaria se tiene:



**L:** 4m.

**I:**  $\leftrightarrow \frac{50}{12} = 4,16 \text{ Amp.}$

**Cte.:** = 56.

**%regulación:** 3%.  $\leftrightarrow 0,03 * 12 = 0,36$

$$S_{\text{CONDUCTOR}} = \frac{2 * 4\text{m} * 4,16\text{Amp}}{56 * 0,36} = 1,65\text{mm}^2$$

En la siguiente tabla se muestra la equivalencia entre los calibres AWG y los  $\text{mm}^2$  del sistema métrico de conductores eléctricos.

AWG	mm <sup>2</sup>
18	0,75
17	1
16	1,5
14	2,5
12	4
10	6
8	10
6	16
4	25
2	35
1	50
1/0	55
2/0	70
3/0	95

**Tabla 9.** Sección de conductores.

Para la sección del calibre del conductor en el sistema AWG se redondea  $mm^2$  al valor superior más cercano y se escoge el valor correspondiente de la tabla 9.

Entonces según los valores obtenidos los valores correspondientes en AWG son:

- Tramo del panel a regulador: 12AWG.
- Tramo de regulador a batería o acumulador: 12AWG.
- Tramo de regulador a la luminaria: 12AWG.

### **3.13. Elementos de protección del sistema.**

Para estudiar este tipo de sistema de alumbrado público se toma como una instalación de 150Wp. En esta instalación se alimenta en continua a 12V y consta de:

- Modulo fotovoltaico tersa 150Wp y 22.6 V de tensión en circuito abierto.
- Una batería 230Ah y 12V.



- Un regulador de 10A y 12V.

### **3.13.1. Estudio de las protecciones.**

Para realizar el análisis de protecciones se irá estudiando los valores de corriente y tensión en cada parte del circuito, distinguiendo la parte continua de la de alterna.

Esta instalación sólo alimenta en continua, por lo que al no haber circuito de alterna, no se requieren protecciones para este lado.

En la parte de continua el valor de tensión en circuito abierto de los paneles es de 22.6 V. Según la **IEC-61140**, sólo se pondrán protecciones si se superan los 50V permitidos. Como no es así, no harán falta.

**Por tanto no requiere protecciones contra contacto directo o indirecto en continua.**

En cuanto al riesgo de que se produzca una sobretensión, al tratarse de un sistema fotovoltaico (**SF**) de pequeñas dimensiones y bajos valores de potencia, según los estudios realizados por el Comité Europeo no se pondrán protecciones para este tipo de contingencias. Además, en este caso el regulador tiene varistores en su electrónica interna por lo que se encuentra protegido para pequeñas sobretensiones.

**No requiere protecciones contra sobretensiones.**

Los valores de sobre corrientes que pueden aparecer son muy pequeños. Igualmente el regulador posee protecciones internas, para protegerse sobre estas contingencias, por lo que poner protecciones sería redundante.

**No requiere protecciones contra cortocircuitos o sobrecargas**

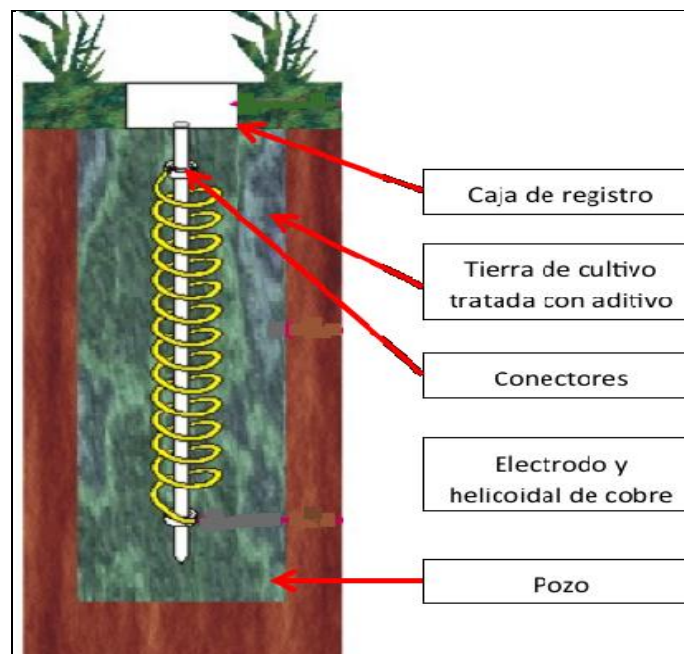
### 3.13.2. Sistema de puesta a tierra.

De acuerdo a las exigencias de la Norma Boliviana NB1056 instalación de sistemas fotovoltaicos hasta 300 Wp (vatio-pico) obliga a que todo sistema solar deba contar con una puesta a tierra, pero como nuestro sistema fotovoltaico es de baja potencia no requiere una puesta a tierra.

Este sistema fotovoltaico normalmente utiliza una carga en corriente continua al tener un panel de poca potencia. Es un sistema que permite cuidar la vida humana, y los aparatos frente a las descargas eléctricas y cortos circuitos. Se utiliza en instalaciones cuya potencia es mayor a 100 Wp.

**El procedimiento para realizar la instalación de la puesta a tierra es el siguiente:**

- **Habilitar el pozo donde irá instalado el electrodo.**



**Fig45.** Partes de la puesta a tierra.

Éste pozo debe ser lo suficientemente amplio para que ingrese el electrodo. Se recomienda medidas de 2m x 1 m x 1 m.

- **Colocar el electrodo y el cable helicoidal.**

Se prepara el electrodo ajustando el cable de cobre a un extremo del electrodo y luego haciendo espiral hasta cubrir el tamaño del electrodo. Después se debe colocar el electrodo junto al cable helicoidal en el pozo.



**Fig46.** Espiral de cable desnudo alrededor del electrodo.



**Fig47.** Tratamiento de la tierra mas sus aditivos químicos.

- **Agregar aditivo para reducir resistencia de terreno.**

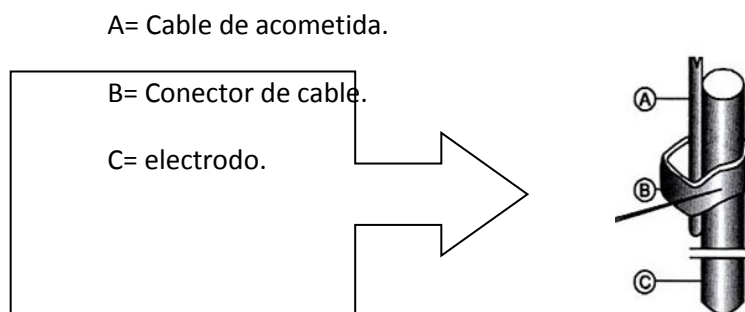
El aditivo ayuda a reducir la resistencia del terreno para que cuando haya una descarga ésta se disipe mejor y evite algún daño al sistema fotovoltaico. Existen diversos tipos de tratamiento químico para reducir la resistencia de una puesta a tierra los más usuales son:

- Cloruro de Sodio + Carbón vegetal.
- Bentonita.
- Gel (Thor-Gel).
- Geo gel aditivo.

El procedimiento de usar el aditivo (gel) es colocarlo en el pozo mediante capas, es decir capas ligeras de gel seguida de capas de tierra orgánica. La proporción es de 1 a 3 por cada metro cúbico de tierra. Conforme se va colocando las capas se debe compactar la tierra.

- **Conectar el cable de acometida.**

Una vez colocado todo el aditivo y la tierra, conecte el cable de acometida al electrodo de cobre.





**Fig48.** Conexión de puesta a tierra a la estructura.

### **3.14. Normas de seguridad.**

Por último, es importante que las tareas de inspección sean hechas teniendo en consideración la seguridad de quien las lleva a cabo. Al respecto debe recordarse que las herramientas a usarse (pinzas, destornilladores, etc.) pueden, accidentalmente, producir un cortocircuito al tocar el terminal opuesto. Para minimizar esta posibilidad se recomienda cubrir con cinta aisladora las superficies metálicas que no son utilizadas.

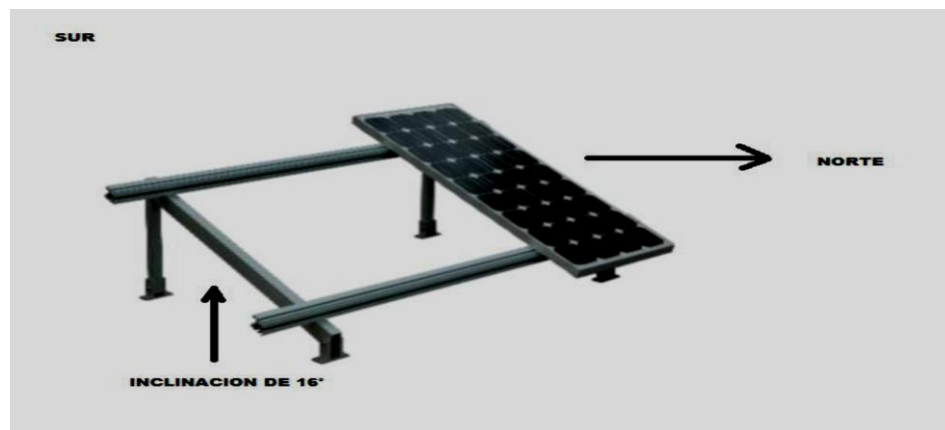
- **Normas de seguridad.** Evite usar anillos, cadenas de oro o un reloj pulsera con malla metálica mientras trabaja con baterías. Aún los voltajes más bajos de CC n sostener corrientes en el cuerpo humano como para causar problemas. A veces la reacción incontrolada que provoca un cortocircuito inesperado puede causar un accidente imprevisible. Utilice guantes, botas y delantal de goma al trabajar con baterías de Pb-ácido. Mantenga a mano una abundante cantidad de bicarbonato de soda para neutral el ácido del electrolito y de agua para enjuagarse.

### 3.15. Especificaciones de instalación de los paneles.

Para una generación casi uniforme durante todo el año, los paneles deben estar inclinados con el mismo ángulo que la latitud del lugar, el panel debe mirar hacia el norte con la inclinación establecida según la siguiente tabla.

Lugar	Grados de inclinación hacia el norte
Cobija	11°
Cochabamba	17°
Desaguadero	16°
El alto	16°
La Paz	16°
Nor Yungas	16°
Oruro	18°
Potosí	19°
Santa Cruz	18°
Sucre	19°
Sur Yungas	16°
Tarija	21°
Trinidad	15°
Uyuni	20°

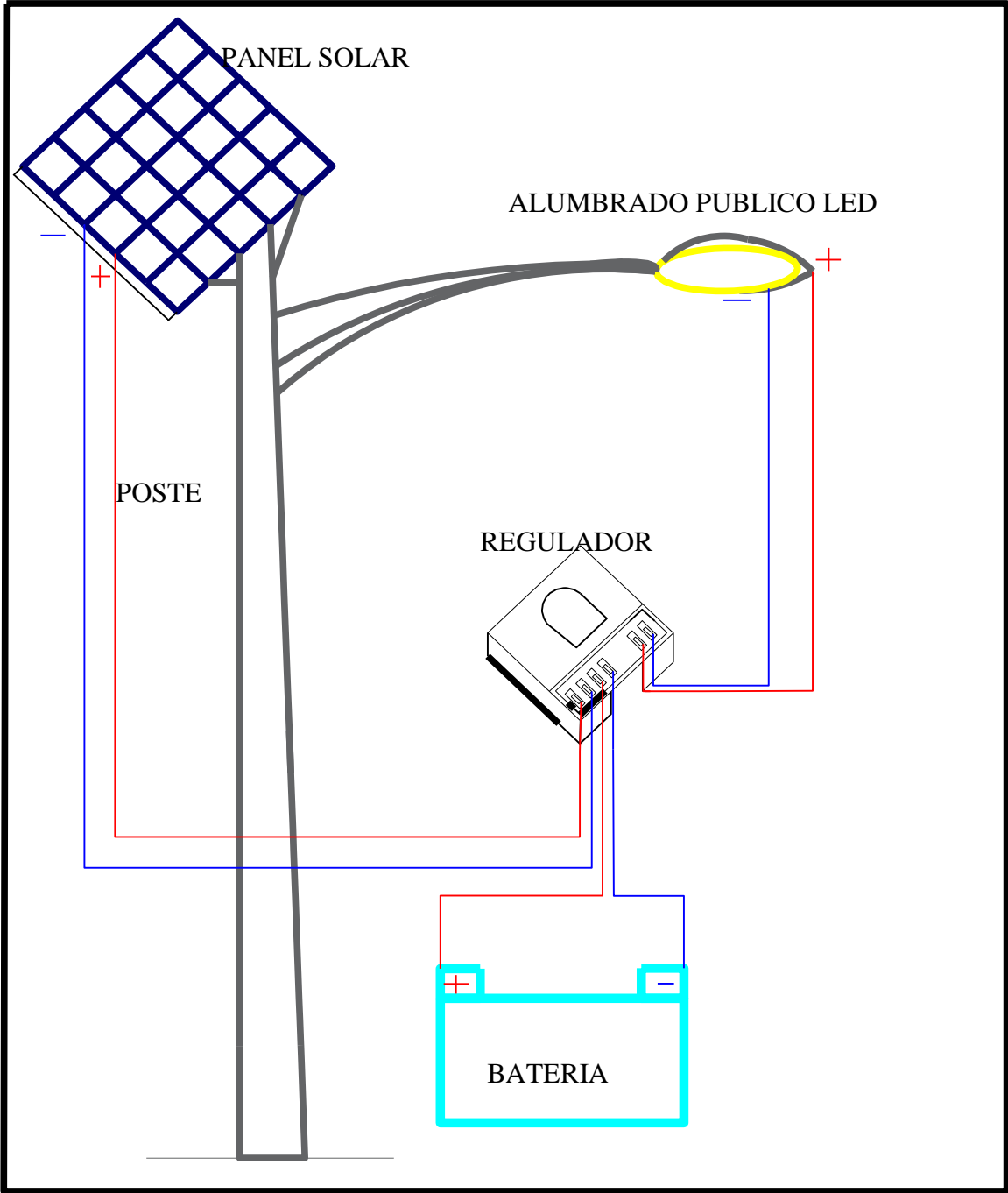
**Tabla 10.** Inclinaciones optimas de paneles fotovoltaicos para diferentes lugares de Bolivia, dato proporcionado por la empresa ECOENERGIA FALK S.R.L.



**Fig.49.** Inclinación dirección establecida de los paneles

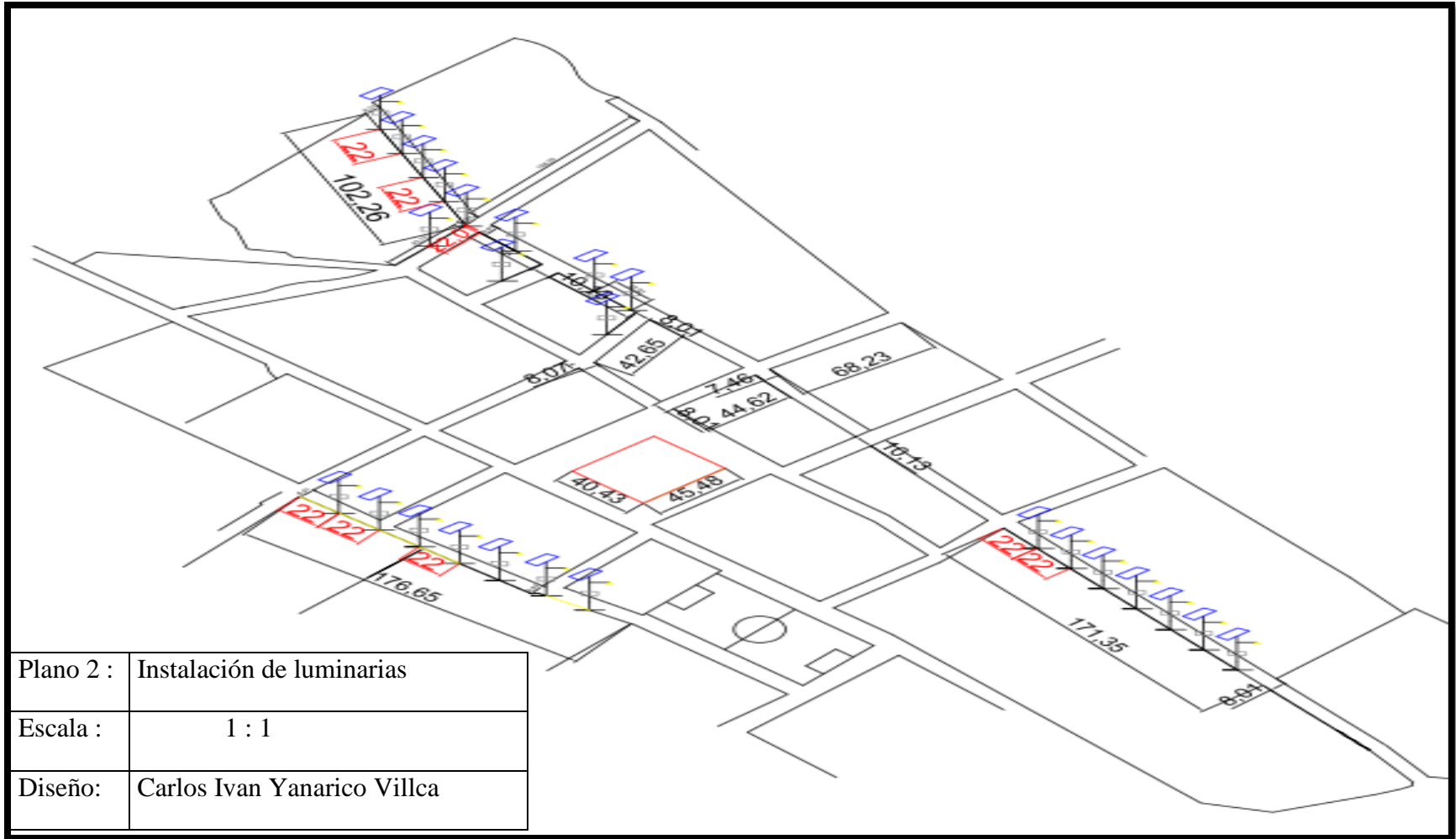
**3.16. Diagrama y planos.**

**3.16.1 diagrama general del sistema.**



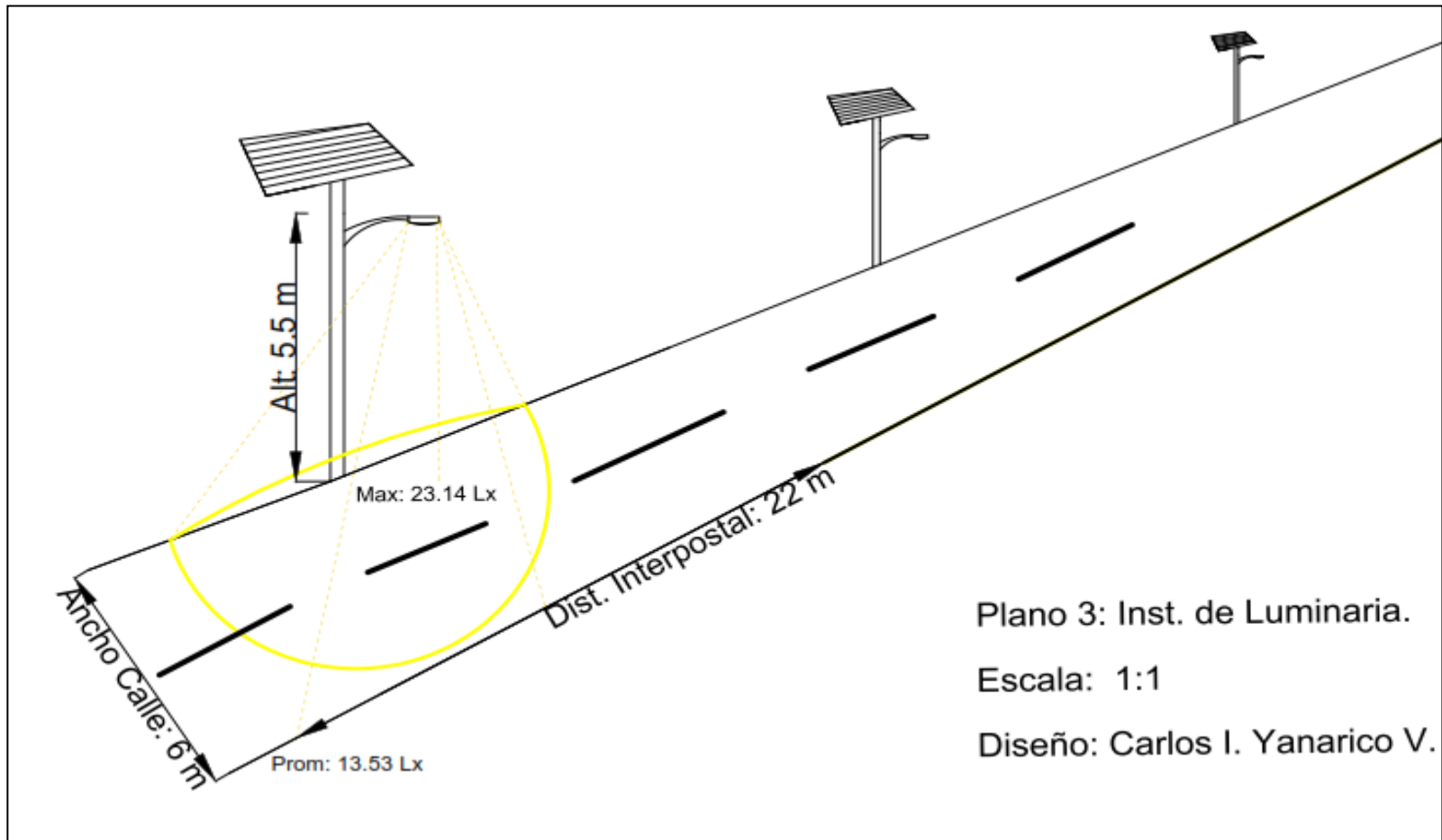
**Plano.1. Diagrama del sistema. Escala 1:100.**

### 3.16.2. Plano general de la instalación de Escoma.





### 3.16.3 Disposiciones de luminaria con nivel de iluminancia.



### 3.16.4. Esquema operacional del sistema.

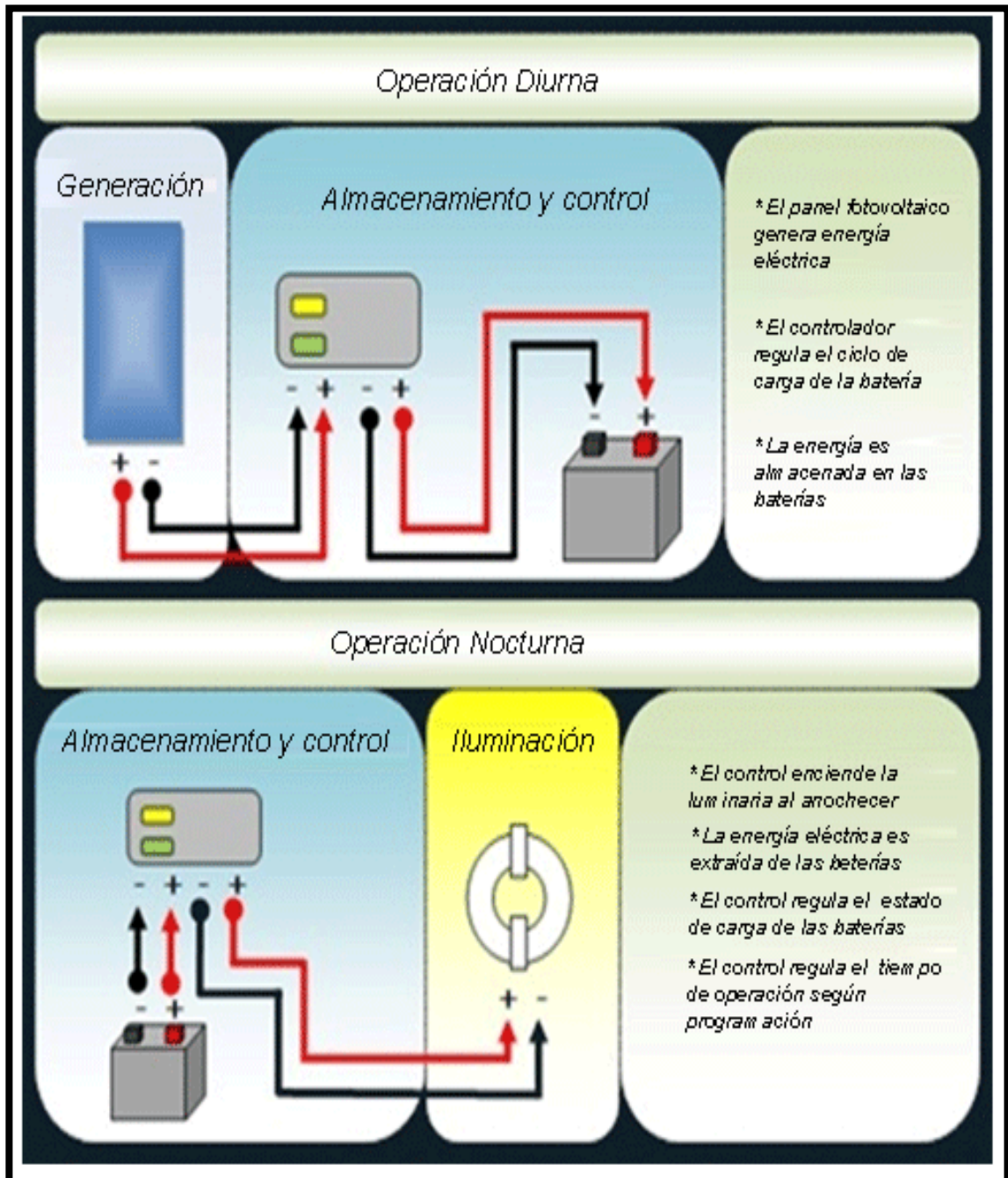


Fig.50. Esquema operacional del sistema. Fuente: Elaborado por [Adapta, 2010].



---

## **CAPÍTULO 4**

### **COSTOS Y PRESUPUESTOS**

#### 4.1. Estudio Económico.

Monto recurso necesario para realizar el proyecto

En la siguiente tabla se muestra los costos de cada uno de las partes del sistema autónomo fotovoltaico unidad y costo total.

#	DESCRIPCION DE	Unid.	CANT.	Precio unitario	Precio total (Bs)
<b>1</b>	<b>MATERIALES</b>				
	Panel solar atersa * 150W poli- cristalino	Pza.	25	1507	37675
	Regulador PWM de 10A, 12V.	Pza.	25	400	10000
	Batería S12/230A	Pza.	25	2000	50000
	Luminaria publica LED130 ° IP: 65	Pza.	25	2300	57500
	Poste NB 1412001-2 mas su soporte.	Pza.	25	2500	62500
	Cable 2x12AWG aislado de 600v.	mts	287,5	3,5	1006,25
<b>TOTAL MATERIALES</b>					<b>218681,25</b>
<b>2</b>	<b>MANO DE OBRA</b>				
	supervisor eléctrico	Hr	1	20,83	20,83
	Electricista	Hr	2	13,33	26,66
	ayudante electricista	Hr	3	8,33	24,99
<b>SUB TOTAL DE MANO OBRA</b>					<b>72,48</b>
Cargas sociales =( % del precio sub parcial de mano de obra)(55 al imp.				55%	39,9
IVA mano de obra = % ( precio sub parcial de mano de obra + cargas				14,94%	16,8
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>					<b>129,13</b>
<b>3</b>	<b>EQUIPO MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>				
	Camioneta	Hr	0,5	80	40
	herramienta de protección personal	Hr	1	4	4
	camión de transporte	Hr	0,5	150	75
Herramientas= 7,00% de sub mano de obra					5,1
<b>TOTAL EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>					<b>124,1</b>

<b>4</b>	<b>gastos generales y administrativos</b>		
	gastos generales = 6,00%	de 1+2+3	13.136,07
	<b>TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>		<b>13,136,07</b>
<b>5</b>	<b>UTILIDAD</b>		
	utilidad = 10%	de 1+2+3+4	23207,1
	<b>UTILIDAD TOTAL</b>		<b>23207,1</b>
<b>6</b>	<b>IMPUESTO</b>		
	impuesto = 3,09%	de 1+2+3+4+5	7888,1
	<b>total impuestos</b>		<b>7658,3</b>
	<b>TOTAL PRECIO DEL PROYECTO</b>		<b>263.165,6</b>

**COSTO TOTAL DEL PROYECTO = 263.165,6 (Bs)**

### **SISTEMA FOTOVOLTAICO**

#### **4. 2. Estudio costo beneficio del alumbrado público convencional o tradicional.**

Si consideramos la misma cantidad de piezas necesarias para realizar el proyecto, pero aplicando el sistema tradicional de alumbrado público que utiliza las vías públicas del municipio que ya cuentan con iluminación de las calles obtendríamos los siguientes datos.

	DESCRIPCION DE	Unid.	CANT.	Precio Unitario	Precio Total (Bs)
<b>1</b>	<b>MATERIALES</b>				
	Poste cónico circular	Pza.	25	2000	50000
	Fotocélula	Pza.	25	130	3250
	Luminaria publica IP: 65	Pza.	25	522	13050
	Conductor 2x10AWG aislado de 600v.	mts	1062,6	6	6375,6
	Conductor 2x12AWG aislado de 600v.	mts	287,5	4	1150
	<b>TOTAL MATERIALES</b>				<b>73825,6</b>

<b>2</b>	<b>MANO DE OBRA</b>				
	supervisor eléctrico	Hr	1	20,83	20,83
	Electricista	Hr	2	13,33	26,66
	ayudante electricista	Hr	3	8,33	24,99
	<b>sub total de mano obra</b>				<b>72,48</b>
	Cargas sociales =( % del precio sub parcial de mano de obra)(55 al imp.			55%	39,9
	IVA mano de obra = % ( precio sub parcial de mano de obra + cargas			14,94%	16,8
	<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>129,13</b>
<b>3</b>	<b>EQUIPO MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>				
	Camioneta	Hr	0,5	80	40
	herramienta de protección personal	Hr	1	4	4
	camión de transporte	Hr	0,5	150	75
	Herramientas= 7,00% de sub mano de obra				5,1
	<b>TOTAL EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>				<b>124,1</b>

<b>4</b>	<b>gastos generales y administrativos</b>				
	gastos generales = 6,00%		de 1+2+3		4.444,73
	<b>TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>				<b>4.444,73</b>
<b>5</b>	<b>utilidad</b>				
	utilidad = 10%		de 1+2+3+4		7852,4
	<b>Utilidad total</b>				<b>7852,4</b>
<b>6</b>	<b>impuesto</b>				
	Impuesto = 3,09%		de 1+2+3+4+5		2669,0
<b>7</b>	<b>TOTAL IMPUESTOS</b>				<b>2488,6</b>
	<b>Puesta a tierra</b>				
	<b>4%</b>		1+2+3+4+5+7		<b>3554,58</b>
	<b>TOTAL PRECIO DEL PROYECTO</b>				<b>92.419,1</b>

**COSTO TOTAL DEL PROYECTO = 92,419.08 (Bs)**

**ALUMBRADO PÚBLICO CONVENCIONAL**

Ahora si comparamos con el costo total del proyecto fotovoltaico y con el costo total del sistema convencional o tradicional es fácil apreciar que resultaría más económico implementar el sistema convencional o tradicional.

Si tomamos en cuenta que el sistema convencional necesita ser alimentado a través de un sistema monofásico de dos hilos 220V, por lo cual tendríamos que calcular que cantidad de KW/HR consume el sistema.

Si para el presente proyecto consideramos 25 unidades de luminarias para el sistema convencional, cada luminaria consumiría 150W, para este tipo de alumbrado público.

$$\text{Potencia Total} = 150 \text{ W} * 25 \text{ Pza.} = 3750 \approx \mathbf{3.7KW.}$$

Si las luminarias encenderán un aproximado de 11Hr diarias, obtendremos un total en KW/HR que se consume al día.

$$\text{Total en KW/Hrs} = 3.7KW * 11 \text{ Hrs} = \mathbf{40.7KW/Hr.}$$

Para fines de cálculo tomamos a cada mes con una cantidad de 30días.

$$\mathbf{KW/Hr} \text{ por mes} = 40,7\mathbf{KW/Hr} * 30 \text{ días} = \mathbf{1.221KW/Hr.}$$

Ahora si consideramos la tarifa del alumbrado público por cada mes tomaremos como una constante de 10.0 en baja tensión.

$$\mathbf{KW/Hr} \text{ por mes} = 1,221 \mathbf{KW/Hr} * 10.0 = \mathbf{12,210Bs}$$

$$\mathbf{12,210Bs.} * 12\text{meses} = \mathbf{146,520 Bs.}$$

**Gasto anual = 146,520 (Bs).**

Sumando el costo total de la luminaria convencional más el gasto anual tenemos.

Total sistema convencional =  $92,419.08 + 146,520 = 238,939.08$  (Bs)

Entonces si se considera que las luminarias cuentan con un total de 6.000 a 10.000 horas de vida útil con lo cual haciendo unos cálculos se tiene un aproximado de 2,3 años de funcionamiento por lo cual se puede decir que cada 2,3 años se realizaría un reemplazo de las luminarias, a diferencia de las luminarias que se elabora para este proyecto se tiene entre 50.000 a 100.000 horas de vida útil que equivaldrían a 23,1 años de vida útil.

Ahora comparando el costo total del sistema fotovoltaico con el resultado con el sistema convencional resulta lo siguiente.

**COSTO TOTAL DE ALUMBRADO PÚBLICO LED = 263.165,6 (Bs)**

**COSTO TOTAL ALUMBRADO PÚBLICO CONVENCIONAL = 238,939.08 (Bs)**

Tomando en cuenta que este sistema fotovoltaico tendría un aproximado de 8 a 11.6 años sin tener la necesidad de reemplazarse, por lo tanto después de amortizar la inversión, los siguientes años serán ganancias.



**Cuadro comparativo de diferentes tipos de luminaria.**

<b>Tecnología</b>	<b>Vida (horas)</b>	<b>Lm/W</b>	<b>T color</b>	<b>CRI</b>	<b>Encendido</b>
<b>Incandescente</b>	1000 - 5000	11 - 15	2800 k	40	instantáneo
<b>Vapor de Mercurio</b>	12000 - 24000	13 - 48	4000K	15 - 55	Hasta 15 min
<b>Haluro Metalico</b>	10000 - 15000	60 - 100	3000 - 4300K	80	Hasta 15 min
<b>HPS</b>	12000 - 24000	45 - 130	2000K	25	Hasta 15 min
<b>LPS</b>	10000 - 18000	80 -180	1800K	0	Hasta 15 min
<b>Fluorescente</b>	10000 - 20000	60 - 100	2700 - 6200K	70 - 90	Hasta 15 min
<b>CFL</b>	12000 - 20000	50 - 72	2700 - 6200K	85	Hasta 15 min
<b>LED</b>	50000 - 100000	70 - 150	2700 - 6400K	85 - 90	instantáneo

**Fuente:** elaboración propia.

En resumen el cuadro de comparación del Led versus la luminaria tradicional Sodio de alto poder (HPS) que se usa en las calles, plazas etc.

<b>Categoría</b>	<b>Sistema Tradicional</b>	<b>LED</b>	<b>Comparación</b>
<b>Watts de la lámpara</b>	150 W HPS	50W	100W
<b>Lúmenes, luminaria</b>	5000	6650	1650
<b># de lámparas</b>	1	1	0
<b>Costo por Lámpara</b>	522 Bs.	2300 Bs.	1778 Bs.
<b>Consumo Elec. Anual</b>	912,68KWh	240KWh	672,68KWh

**Fuente:** elaboración propia.



---

**CAPÍTULO 5**

**MARCO CONCLUSIVO**

## **5.1. Conclusiones y recomendaciones.**

El uso de sistemas solares fotovoltaicos como fuentes de energía, son medidas que permiten en parte, aliviar el uso de energías convencionales, consiguiendo de esta manera alcanzar cierta independencia, y permitiendo a su vez, reducir los niveles de contaminación del planeta, ya que prácticamente estos sistemas generan muy pocas emisiones de CO<sub>2</sub>, en comparación a la generación con quema de combustibles fósiles, disminuyendo asimismo, la necesidad de construir centrales eléctricas para satisfacer la demanda total energética.

- Se dimensionó la potencia necesaria del sistema de alimentación, en base a los requerimientos del sistema fotovoltaico demás componentes eléctricos y electrónicos del sistema.
- Se dimensiono el arreglo de los paneles solares de manera que aporten con la energía requerida por el sistema, con una corriente prácticamente constante, cuyo valor depende de la intensidad luminosa incidente, esta corriente es utilizada para el accionamiento del alumbrado público.
- Se dimensiono un arreglo de los paneles solares solamente para el sistema de control, iluminación y carga de la batería.

## **5.2. Recomendaciones y precauciones generales para el mantenimiento del sistema fotovoltaico.**

- Verificar las conexiones de los diferentes puntos (panel-control-batería-lámpara) para que se mantenga el flujo de carga.
- Sí por algún percance de la lámpara instalada, se desea cambiar por otra, tenga en cuenta que la nueva no puede exceder los 50Watts de potencia (12-24VDC) ya que puede provocar un mal funcionamiento al ya preestablecido.
- Las actividades llevadas a cabo en el desarrollo del proyecto, permitió el cumplimiento de los objetivos.
- La metodología utilizada para la realización de este sistema fotovoltaico para alumbrado público, reúne los componentes necesarios para la selección de los componentes que lo integran.

### 5.3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. “Propuesta de Iluminación pública por medios fotovoltaicos” ROSALES SANTIAGO SERGIO. En diciembre de 2009. En México.
2. Celdas fotovoltaicas para alumbrado público. En 31 de marzo 2012] <http://www.energifotovoltaica.ws>.
3. Luminarias para bombillas de sodio 70 a 400 W para alumbrado público Likinormas.mht. <http://www.luminarialed.com>.
4. Proyecto de luminaria pública. [http://www.Instalación Solar Fotovoltaica para Vivienda ws](http://www.InstalaciónSolarFotovoltaica.com).
5. Luminarias Solares SAECSA para Alumbrado Público (iluminación solar por Leds e Inducción). [http://www. Luminarias Solares SAECSA. ws..](http://www.LuminariasSolaresSAECSA.com)
6. Propuesta para la implementación del sistema “led” para la iluminación pública en Antioquia María Susana Benjumea mesa del 2009
7. Diseño e implementación de Un sistema de iluminación autónoma de espacios exteriores con celdas solares. MARIEL DESIREE RIVAS, .Noviembre de 2005. En Venezuela INN. 26 p.
8. LAGUNA, G. A. *Lámparas de alumbrado público con LEDs*. ADAPTA ECO GENEREACIONSA DE CV, 2011. Catalogo Alumbrado Público LED.
9. TURRINI, ENRICO; ALEJANDRO MONTESINOS, AMADO CALZADILLA, et al. *Solarización territorial. Vía para el logro del desarrollo sostenible*. La Habana: Ed. CUBASOLAR, 2010. ISBN 978-959-7113-39-3. p. 76.

10. ADAPTA, G. *Lámparas de alumbrado público con LEDs*. ADAPTA ECO GENEREACIONSA DE CV, 2010. ADAPTA ECO GENERACION (juan@grupoadapta.com.mx).
11. Luminotecnia en exteriores OMIP- DM-USE, Rodrigo Mamani Apaza.
12. Instalaciones Solares Fotovoltaicas, Enrique A. Cabrerizo, 2008, Editorial Propensa, España.
13. Energía Solar Fotovoltaica, Oscar Perpiñán Lamigueiro, 2013, Editorial Creative Commons, España.
14. Energía Solar Fotovoltaica, Manual Técnico para Instalaciones Domiciliarias, M.Sc. Ing. Carlos Orbegozo, 2010, Green Energy Consultoría y Servicios SRL, Perú.
15. Norma Boliviana Instalaciones Eléctricas-Sistemas de Puesta a Tierra Glosario de Términos (NB 148004), IBNORCA, 2004, Editorial IBNORCA, Bolivia
16. Norma Boliviana Instalaciones Eléctricas-Sistemas de Puesta a Tierra Conductores para Puesta a Tierra (NB 148005), IBNORCA, 2004, Editorial IBNORCA, Bolivia.
17. Norma Boliviana Instalaciones Eléctricas-Sistemas de Puesta a Tierra Electrodo para Puesta a Tierra (NB 148006), IBNORCA, 2004, Editorial IBNORCA, Bolivia

## Otras fuentes de elaboración del proyecto de grado

- [1] Tesis de sistemas autónomos.
- [2] Ministerio de hidrocarburo y energía.
- [3] proyecto de energía solar, UMSS 2010.
- [4] [http://upload.wikimedia.org/commons/4/47/Solar\\_irradiance\\_spectrum\\_1992.gif](http://upload.wikimedia.org/commons/4/47/Solar_irradiance_spectrum_1992.gif).
- [5] <http://solar.fotovolaticopara.vivienda.com>.
- [6] Volker Quaschnig, Understanding Renewable Energy Systems pag.120.
- [7] Volker Quaschnig, Understanding Renewable Energy Systems pag.123
- [8] Volker Quaschnig, Understanding Renewable Energy Systems pag.124
- [9] Volker Quaschnig, Understanding Renewable Energy Systems pag.124
- [10] <http://esquema.bateria.solar.org>.
- [11] <http://es.wikipedia.org/wiki/Led>.
- [12] <http://componentes/led>.
- [13] <http://postes.fotovoltaicos.alumbrado.público>.
- [14] <http://principales.tipos.de.lamparas>.
- [15] <http://principales.tipos.de.lamparas>.
- [16] <http://tecnologia.led>.
- [17] Proyecto de grado sistema autónomo.
- [18] <http://lampara.convencional>.
- [19] Facilitador de la alcaldía de La Paz Rodrigo Mamani Apaza.



## **ANEXOS**



## **ANEXO I**

## ESPECIFICACION Y TECNICA DEL PANEL SOLAR

### Módulo fotovoltaico A-150P



**10**  
años de  
garantía

**+30**  
años en  
el sector

Los módulos de ATERSA están diseñados y construidos teniendo presente su larga vida útil. Por este motivo ATERSA cuida de forma especial la elección de todos y cada uno de los componentes que incorporan, haciéndoles pasar por múltiples y rigurosos controles de calidad, tanto antes, como en la propia producción, para garantizar una altísima eficiencia y durabilidad.

Los más de 30 años que llevamos en el sector, nos hace acumular una experiencia que volcamos en todos los productos que fabricamos.

Así mismo, la instalación de los módulos se facilita mediante el uso de diferentes sistemas diseñados por ATERSA, que nos diferencian claramente de los productos estándar del mercado.

#### CERTIFICADOS



**ISO 9001, 14001**  
IEC 61215 (Ed.2)  
IEC 61730 (Ed.1)  
UL, MCS, ICIM (€)

#### RECICLABLE



**Cuidado del medioambiente.**  
Módulos reciclables.  
Adheridos a PV Cycle.

#### LARGA DURACIÓN



**Garantizada la Potencia**  
de salida: 25 años.  
\*10 años, libre de defectos de fabricación.

#### SERVICIO



**Servicio integral.**  
Asesoramiento técnico,  
servicio postventa,  
mantenimiento,  
reparaciones.

#### SISTEMA HOOK™



**Montaje rápido y sencillo.**  
Sistema de Fijación Hook™.  
Mínimo mantenimiento.

#### ROBUSTEZ



**Cristal templado** con alto nivel de transmisividad de 3,2mm de espesor. Robusto marco. Caja de conexiones QUAD IP54.

#### FIABILIDAD



**Excelente respuesta** en condiciones de baja luminosidad.  
Garantizada por su tecnología cristalina.

#### RESISTENCIA



**Resistencia a cargas de viento** de 2400 Pa y hasta 5400 Pa de nieve.

Para una información más detallada de los términos de la garantía, consulte: [www.aterza.com](http://www.aterza.com)

**Características eléctricas (STC: 1kW/m<sup>2</sup>, 25°C±2°C y AM 1,5)\***

**A-150P**

Potencia Nominal (±5%)	150 W
Eficiencia del módulo	15,42%
Corriente Punto de Máxima Potencia (Imp)	8,41 A
Tensión Punto de Máxima Potencia (Vmp)	17,84 V
Corriente en Cortocircuito (Isc)	8,69 A
Tensión de Circuito Abierto (Voc)	22,60 V

**Parámetros térmicos**

Coefficiente de Temperatura de Isc ( $\alpha$ )	0,04% /°C
Coefficiente de Temperatura de Voc ( $\beta$ )	-0,32% /°C
Coefficiente de Temperatura de P ( $\gamma$ )	-0,43% /°C

**Características físicas**

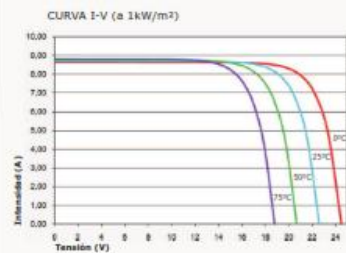
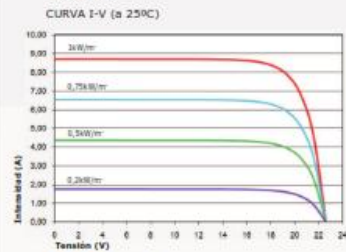
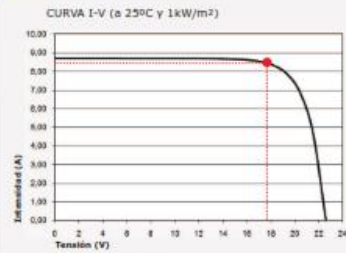
Dimensiones (mm ± 2mm)	1476x659x35
Peso (kg)	11,9
Área (m <sup>2</sup> )	0,97
Tipo de célula	Policristalina 156x156mm (6 pulgadas)
Células en serie	36 (4x9)
Cristal delantero	Cristal templado ultra claro de 3,2mm
Marco	Aleación de aluminio pintado en poliéster
Caja de conexiones / Opcional	QUAD IP54 / QUAD IP65
Cables	-
Conectores	-

**Rango de funcionamiento**

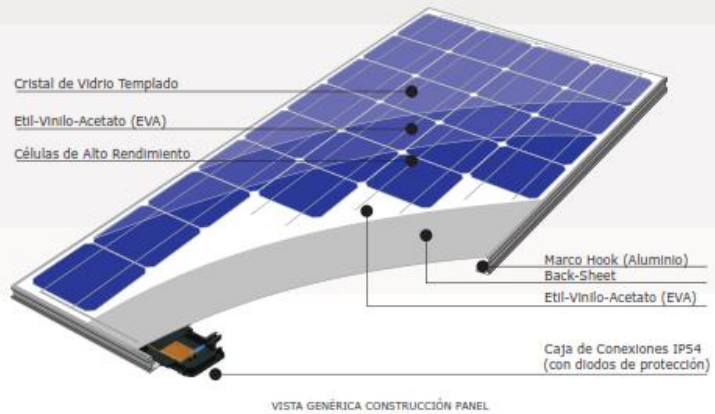
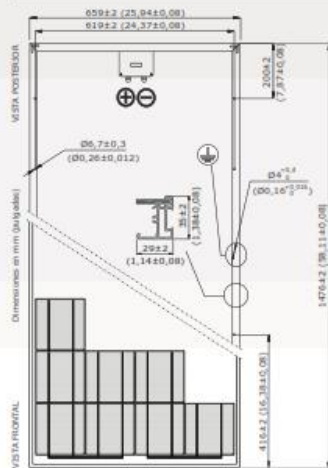
Temperatura	-40 °C a +85 °C
Máxima Tensión del Sistema / Protección	1000 V / CLASS II
Carga Máxima Viento	2400 Pa (130 km/h)
Carga Máxima Nieve	5400 Pa (551 kg/m <sup>2</sup> )

\* Especificaciones eléctricas medidas en STC. NOCT: 47±2°C.  
Tolerancias medida STC: ±3% (Pmp); ±10% (Isc, Voc, Imp, Vmp).

**Curvas modelo A-150P**



\* Max. Corriente Inversa (IR): 15,1A.



NOTA: Los datos contenidos en esta documentación están sujetos a modificación sin previo aviso.

www.atersa.com • atersa@elecnor.com

Madrid 915 178 452 • Valencia 902 545 111 • Italia +39 039 226 24 82 • Alemania +49 151 153 988 44

Revisado: 06/02/13  
Ref.: MU-OP (1) 4x9-G  
© Atersa SL, 2012

## **ANEXO II**

## ESPECIFICACIÓN DE LA BATERÍA











### GUÍA DE ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

TAMAÑO DEL GRUPO BCI	TIPO	CAPACIDAD <sup>A</sup> Minutos			CAPACIDAD <sup>B</sup> Amp. hora (Ah)			TIPO DE TERMINAL (vea abajo)	DIMENSIONES <sup>C</sup> Pulgadas (mm)			PESO lbs. (kg)
		Q25 Amps	Q58 Amps	Q75 Amps	5 Hr Rate	20 Hr Rate	100 Hr Rate		L	An	AJ <sup>F</sup>	
<b>BATERÍAS DE CICLO PROFUNDO DE 6 VOLTIOS</b>												
GC2	6V-GEL	394	-	-	154	189	-	5	10 1/4 (260)	7 1/8 (181)	10 7/8 (276)	66 (31)
<b>BATERÍAS DE CICLO PROFUNDO DE 12 VOLTIOS</b>												
24	24-GEL	147	-	-	66	77	-	5,6	10 7/8 (276)	6 3/4 (171)	9 5/16 (236)	52 (24)
27	27-GEL	179	-	-	76	91	-	5	12 3/4 (324)	6 3/4 (171)	9 1/4 (234)	63 (29)
31	31-GEL	200	-	-	85	102	-	5	12 15/16 (329)	6 3/4 (171)	9 5/8 (245)	60 (31)

TAMAÑO DEL GRUPO BCI	TIPO	CAPACIDAD <sup>A</sup> Minutos		POTENCIA DE ARRANQUE		CAPACIDAD <sup>B</sup> Amp. hora (Ah)			TIPO DE TERMINAL (vea abajo)	DIMENSIONES <sup>C</sup> Pulgadas (mm)			PESO lbs. (kg)
		Q25 Amps	Q75 Amps	CCA <sup>D</sup> @0°F	CA <sup>E</sup> @32°F	5 hs	20 hs	100 hs		L	An	AJ <sup>F</sup>	
<b>BATERÍAS MARINAS/RV DE CICLO PROFUNDO DE 12 VOLTIOS</b>													
24	BCB150	150	36	630	650	80	100	-	8	11 1/4 (286)	6 3/4 (171)	9 3/4 (248)	50 (23)
27	BCB200	200	52	820	780	95	115	-	8	12 3/4 (324)	6 3/4 (171)	9 3/4 (248)	60 (27)
30H	BCB225	225	57	865	820	105	130	-	8	13 15/16 (355)	6 3/4 (171)	9 7/8 (251)	66 (30)
<b>BATERÍAS AGM DE DOBLE PROPÓSITO DE 6 VOLTIOS</b>													
GC2	6V-AGM	385	-	1100	1400	154	200	-	6	10 1/4 (260)	7 1/8 (181)	10 3/4 (274)	65 (29)
<b>BATERÍAS AGM DE DOBLE PROPÓSITO DE 12 VOLTIOS</b>													
24	24-AGM	130	-	440	620	81	80	-	6	10 1/4 (260)	6 5/8 (168)	9 1/2 (241)	52 (24)
27	27-AGM	175	-	500	780	70	100	-	6	12 1/16 (300)	6 5/8 (168)	9 7/16 (239)	67 (30)
31	31-AGM	190	-	720	950	83	110	-	6	12 15/16 (329)	6 13/16 (173)	9 5/16 (237)	74 (34)
4D	4D-AGM	325	-	1110	1420	131	166	-	6	20 7/8 (530)	8 1/4 (209)	9 5/8 (244)	125 (57)
8D	8D-AGM	400	-	1450	1850	179	230	-	6	20 1/2 (521)	10 9/16 (269)	9 3/16 (233)	167 (76)

- A. La cantidad de minutos que una batería produce durante una descarga a corriente continua a 90 °F (27 °C) y mantiene.
- B. La cantidad de amperios hora (Ah) que una batería produce durante una descarga a corriente continua a 90 °F (27 °C) por 20 ó 100 horas y a 86 °F (30 °C) por 5 horas y mantiene un voltaje por arriba de 1.75 Volts/c. Basado en la capacidad máxima de la batería.
- C. Las dimensiones se basan en el tamaño máximo y pueden variar según el tipo de agarradera ó terminal.
- D. C.C.A. (Corriente de Arranque en frío): Corriente de descarga medida en amperios que una batería nueva y completamente cargada puede mantener durante 30 segundos a 0 °F con un voltaje por arriba de 1.2 v/celda.
- E. C.A. (Corriente de Arranque): Corriente de descarga medida en amperios que una batería nueva y completamente cargada puede mantener durante 30 segundos a 32°F con un voltaje por arriba de 1.2 v/celda. Esto se refiere a veces como Corriente de Arranque Marina ó M.C.A. a 32 °F.
- F. Las dimensiones se toman desde la parte más baja de la batería a su punto más alto. Las dimensiones pueden variar según el tipo de terminal.

### CONFIGURACIONES DE LOS BORNES

									
1 LPT	2 HPT	3 WNT	4 AP	5 UT	6 DT	7 ST	8 DWNT	9 LT	10
Terminal de Perfil Bajo	Terminal de Perfil Alto	Terminal de Rosca Mariposa	Terminal de Poste Automotivo	Terminal Universal	Terminal de Poste Automotivo y Tornillo	Terminal de Tornillo	Terminal de Rosca Mariposa Doble	Terminal L	Cable y enchufe

Caja "Polyon™"



Para el Distribuidor Maestro de Trojan cerca de usted, llame al 800-423-6569 ó 562-236-3000 ó visítenos en [www.trojanbattery.com](http://www.trojanbattery.com)

PSG • Español 06/09



**GUÍA DE ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO**

## **GUÍA DE ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO**

### **Una guía completa que hace más fácil la selección de su batería.**

Desde 1925, Trojan Battery Company es reconocida por fabricar las baterías de ciclo profundo más confiables a nivel mundial con una ingeniería superior y un diseño de producto innovador. Ofrecemos a nuestros clientes esta guía de especificaciones del producto como una herramienta esencial para la selección de baterías, que presenta:

- Consejos útiles para determinar cuál es la batería Trojan más adecuada para su aplicación
- Una guía paso a paso con diagramas para la instalación y configuración de la batería
- Una tabla de especificaciones fácil de utilizar que muestra la línea completa de productos de Trojan Battery
- Configuración de Terminales con fotos

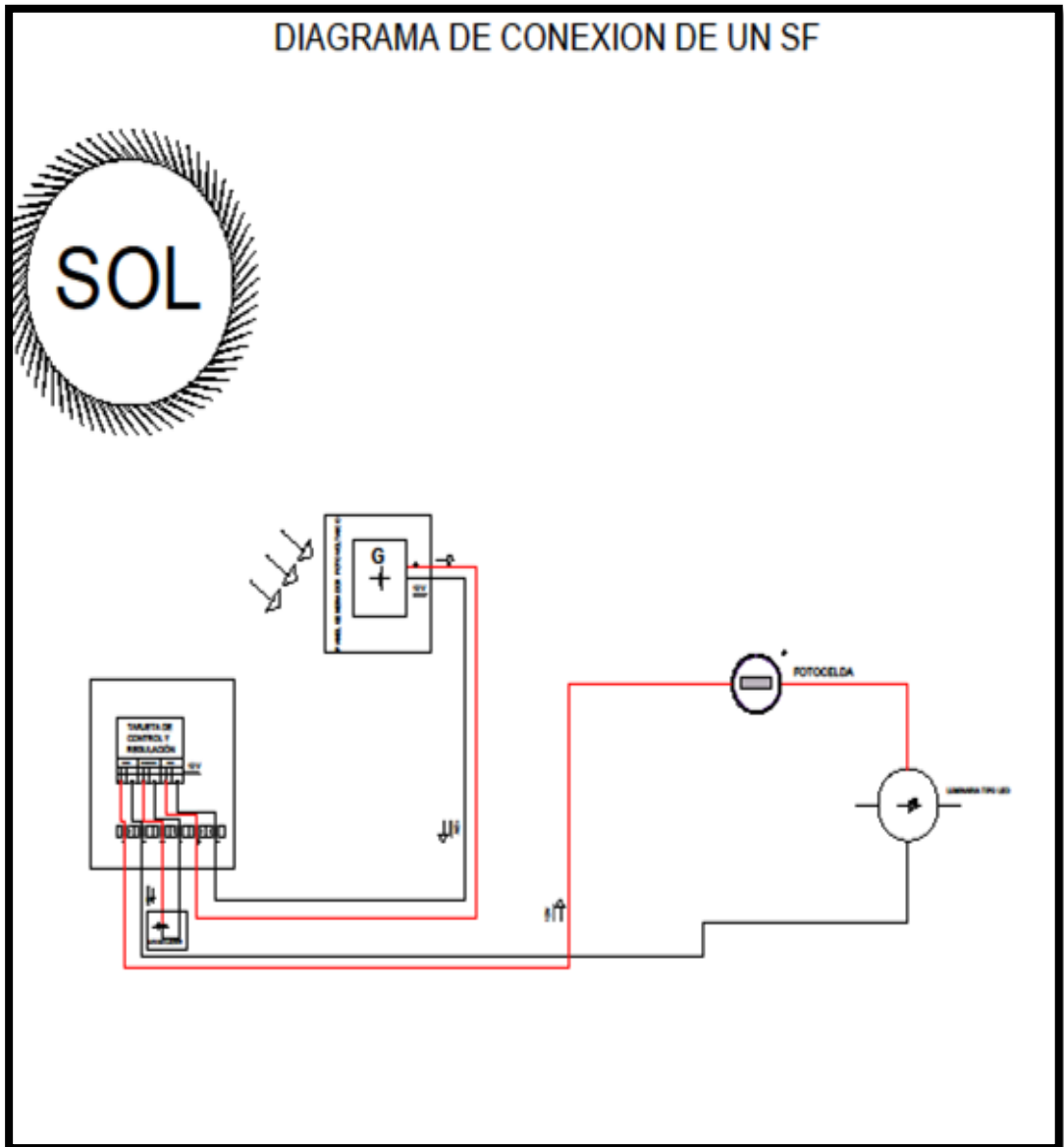
También ofrecemos apoyo técnico sobresaliente y personalizado proporcionado por ingenieros de aplicaciones de tiempo completo. *Las baterías Trojan están disponibles en todo el mundo a través de nuestra Red de Distribuidores Maestros.*

Llame al 800-423-6569 o al 562-236-3000 para más información ó visítenos en [www.trojanbattery.com](http://www.trojanbattery.com)

*Clean energy for life*

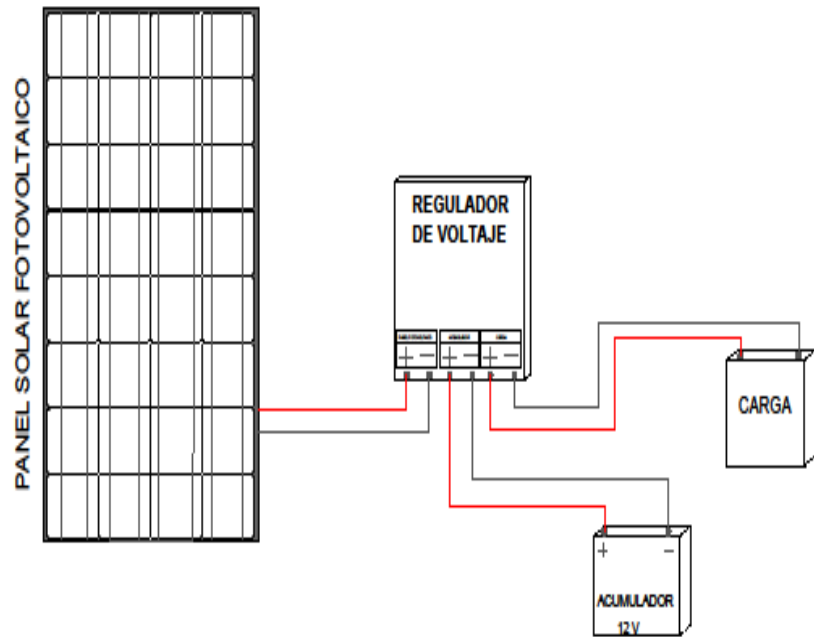
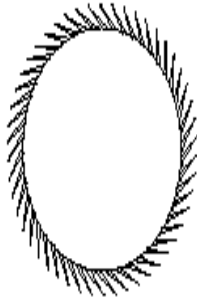
## **ANEXO III**

# DIAGRAMA DE CONEXION DE UN SF





# ESQUEMA SIMPLIFICADO DE UN SF



## **ANEXO IV**



# C-LED40

## LAMPARAS SOLARES | FICHA TÉCNICA



### COMPONENTES

<b>Batería Solar (x2)</b>	Batería Solar de 115Ah@12V, libre de mantenimiento. Grupo BCI: 31T. Certificado: ISO/TS 16949:2009. (CSC-G)
<b>Modulos Fotovoltaico (x2)</b>	Módulo Fotovoltaico entre 90-100 Wp. Potencia de salida del 90% en 10 años y de 80% a 20 años. Certificados: CE, ETL, TUV, IEC.
<b>Controlador de Carga</b>	Controlador C1S-10 PWM de 10 A, 12V. Programación de operación seleccionable. Certificados: ISO 9001:2008, CE
<b>Lámpara LED</b>	Luminaria LED de 40W@24V, flujo luminoso: 3,680 lm.
<b>Gabinete Metálico</b>	Gabinete lateral de acero para dos (2) baterías, calibre 18. Terminado en pintura al horno.
<b>Soporte p/ Módulo</b>	Soporte punta de poste para dos (2) módulos fotovoltaicos. Terminado en pintura al horno.
<b>Postes</b>	Poste cónico circular, punta de poste. Alturas disponibles 6 a 9 metros. Placa base: 27x27, distancia centro a centro para áncoras: 19 x 19 cm. Terminado en Primer.

### APLICACIONES

- **Vialidades secundarias:** para acceso directo a zonas residenciales, comerciales e industriales, se caracterizan por tener alto tránsito peatonal nocturno, tránsito vehicular de moderado a alto y moderada existencia de comercios.
- **Carreteras:** Vialidades que interconectan dos poblaciones con cruces al mismo nivel. Autopistas: Vialidades con alto tránsito vehicular de alta velocidad con control total de acceso y sin cruces al mismo nivel.
- **Calles internas** de zonas habitacionales (fraccionamientos, colonias, unidades habitacionales), andadores peatonales turísticos, bardas perimetrales, paraderos de autobuses, estacionamientos, senderos en parques públicos.

### VENTAJAS

- **Versatil:** Instale en cualquier lugar.
- **Facilidad de instalación:** Solo coloque la cimentación para el poste.
- **Ahorre:** Los altos costo de canalización y tendido eléctrico.
- **Anticipe:** Elaboramos simulación de niveles de iluminación para su obra.
- **Autonomía:** Sea 100% autónomo, no dependa de CFE.
- **Sustentable:** Sistemas de energía renovable solar fotovoltaica.
- **Encendido automático:** Operación para toda la noche, no se quede a oscuras a media noche.
- **Mantenimiento:** Baterías libres de mantenimiento.
- **No pierda eficiencia:** Luminarias a 12/24VCD que no requieren inversor de corriente.
- **Vida útil:** Luminaria 50 mil hrs. Batería 1,100 ciclos. Módulos: +20 años.
- **Amigable con el ambiente:** Cero emisiones contaminantes durante su vida útil.
- **Ingeniería en el diseño:** Sistemas con relación generación/consumo de 5 a 1
- **Garantía:** Estandar de 18 meses directamente con nuestra empresa.
- **Servicio posventa:** Disponibilidad de refacciones.

CERTIFICADO DE COMPONENTES





# C-LED40

## LAMPARAS SOLARES | FICHA TÉCNICA



### CARACTERÍSTICAS DEL MÓDULO

MÓDULO FOTOVOLTAICO	SW095M
Potencia máxima	95W
Tipo	Monocrystalino
Voltaje de circuito abierto	22.5V
Tensión Nominal	18.6V
Corriente de Cortocircuito	5.56A
Voltaje máximo del sistema	600V
Dimensiones	960 x 665x30mm.
Peso	7.2kg
Serie del fusible	10A
Certificaciones	CE, ETL, TUV, IEC.



### CARACTERÍSTICAS DEL CONTROLADOR

CONTROLADOR	CIS-10
Sistema del voltaje	12 / 24 V (reconocimiento automático)
Carga Máxima	10Ah
Carga de flotación	13.8/27.6V (25°C)
Carga principal	14.4/28.8V
Protección incluidas	Contra descarga, contra sobrecarga, por sobre voltaje y bajo voltaje.
Dimensiones	82*58*20mm
Protección	IP68
Certificaciones	ISO 9001:2008, CE



### CARACTERÍSTICAS DE LA BATERÍA

BATERÍA SOLAR	CALE SOLAR
Tipo	Ciclado Profundo
Amperaje	115Ah@20hrs rate
Voltaje	12 VCD
Energía	1.32 kWh@20hrs rate
Largo	330mm
Ancho	172mm
Alto	239mm
Grupo BCI	31T
Vida útil estimada	3 años a un 20% de descarga diaria
Certificaciones	ISO/TS 16949:2009



### CARACTERÍSTICAS DEL POSTE

POSTES	CÓNICO CIRCULAR, PUNTA DE POSTE
Alturas disponibles	6, 7, 8 y 9 metros
Calibre del acero	Calibre 12: 6 metros. Calibre 11: 7, 8 y 9 metros
Placa de la base	27 x 27 cm por lado
Centro a centro para áncoras	19 x 19 cm distancia entre centros
Diametro de la punta del poste	61 mm interno, 74 mm externo
Terminado del poste	Terminado en esmalte gris oscuro.
Peso del poste	6 m = 62 Kg, 7 m = 76 Kg, 8 m = 90 Kg, 9 m = 105 Kg.



DISEÑO DE LUMINARIA VISTA LATERAL



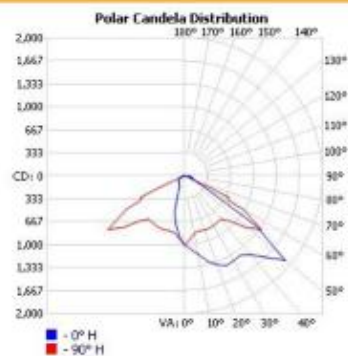
# C-LED40

## LAMPARAS SOLARES | FICHA TÉCNICA

### CARACTERÍSTICAS DE LA LUMINARIA

LUMINARIA	CITI40
Rango de Tensión	24VDC
Potencia	40W
Temperatura de color	5000 K
Flujo Luminoso	3,880 lm
IRC	>70
Vida útil estimada	>50.000 hrs
Eficiencia del sistema	92 lm/w
Grado de Protección	IP65
Tipo de Luminaria	LED Dli (Led con driver totalmente integrado)
Tipo de distribución	Tipo II, Medio
Distancia interpostal	20 metros entre postes (a 7 m de altura)
Superficie que ilumina	A 7 metros de altura tenemos un área iluminada de 300 m <sup>2</sup> .

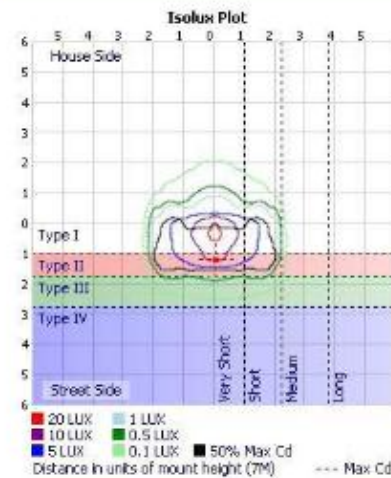
### CURVA DE DISTRIBUCIÓN



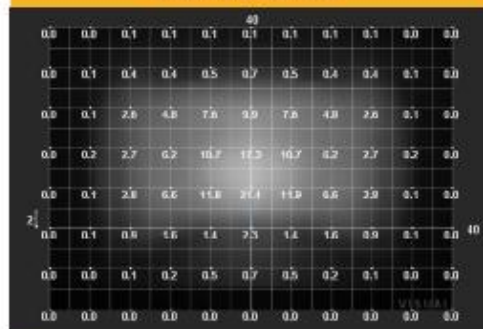
En el diagrama de curvas de distribución luminosa los radios representan el ángulo que mide la inclinación respecto al eje vertical de la luminaria y las circunferencias concéntricas el valor de la intensidad en candelas (CD). Se distingue en la curva azul los grados a los que podemos encontrar mayor nivel de candelas.



### GRÁFICA ISOLUX



### VISTA A ESCALA DE GRIBES

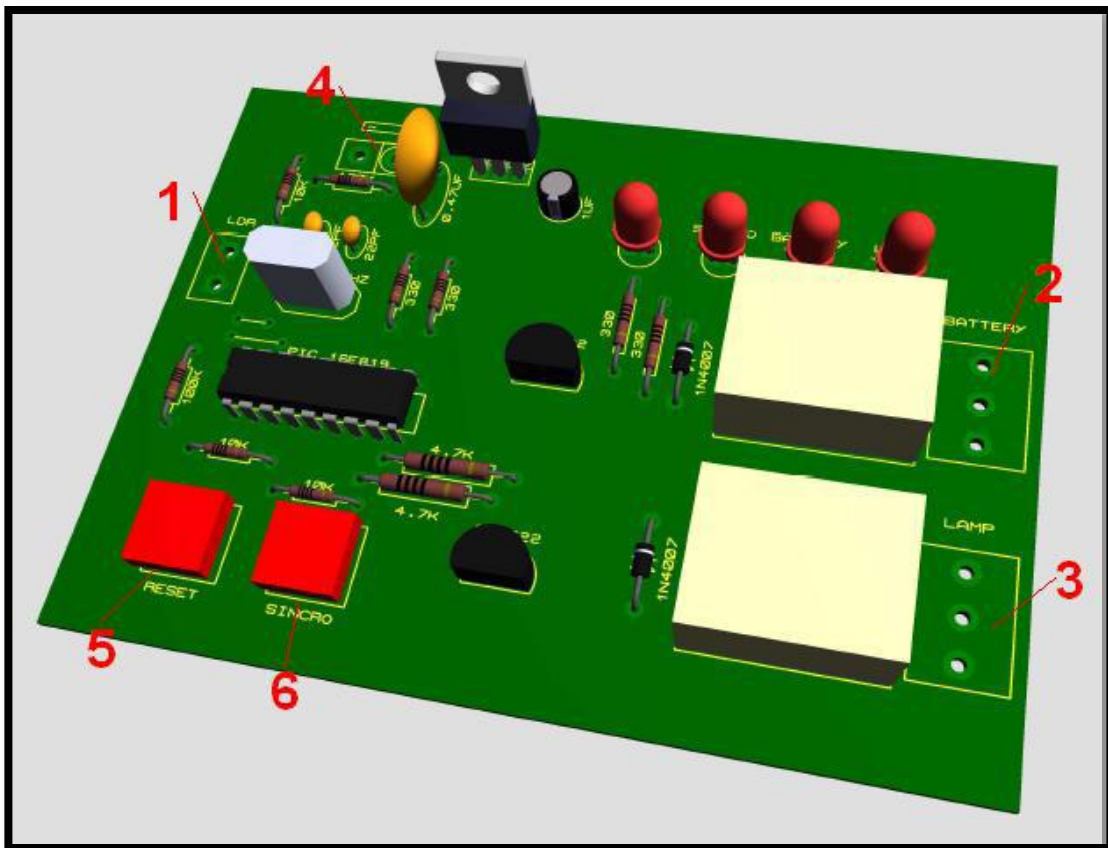


- **NOTA 1:** Representa la iluminancia recibida en una superficie uniendo todos los puntos del plano que tienen el mismo valor de iluminancia (expresados en luxes). Cada curva representa un nivel diferente de iluminancia según la escala indicada.
- **NOTA 2:** Para este diagrama debemos considerar como unidad de medida la altura de montaje (MH, por sus siglas en inglés), que es de 7 metros (MH = 7). Así cada cuadro representado en el plano cartesiano es de 7m X 7m, así 2 unidades equivalen a 14m y así sucesivamente. Para esta curva se observa que el nivel mínimo de iluminancia (0.1 lux) representado en la gráfica se extiende alrededor de 16m a cada extremo horizontal de la luminaria.

## **ANEXO V**

## MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROLADOR Y REGULADOR

La tarjeta controladora basada en el microcontrolador PIC 16F819 está diseñada para el control de lámparas alimentadas por energía solar almacenada en baterías. Así que provee el control necesario para la carga de la batería y el encendido de la lámpara cuando es de noche y su correspondiente apagado durante las horas del día, gracias a la revisión de las condiciones de luz por medio de una foto celda y el manejo del tiempo correcto. El microcontrolador puede medir el voltaje de la batería y determinar su estado.



**1. Punto de instalación de LDR (Foto celda).** En este punto se conectan directamente los terminales de la foto celda que tiene como función revisar las condiciones de luz necesarias. Este también es un punto de medición del voltaje en la foto celda con el cual se puede determinar el umbral de luz y así calibrar el sistema.

**2. Punto de conexión control carga de batería.** En este punto se encuentran los contactos del relé que controla la carga de la batería. Su función es interrumpir o permitir el flujo de corriente que proviene del regulador de 10 A cuando el estado de la batería lo requiera.

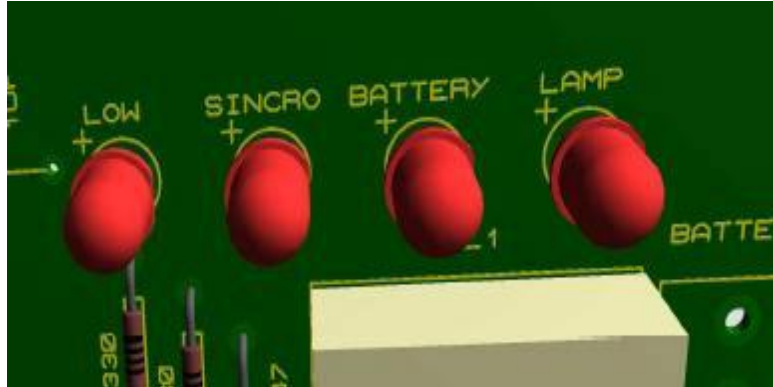
**3. Punto de conexión para control de encendido/apagado de la lámpara.** En este punto se encuentran los contactos del relé que controla el encendido/apagado de la lámpara. Su función es interrumpir o permitir el flujo de corriente que proviene de la batería cuando las condiciones de luz sean las ideales.

**4. Alimentación de la tarjeta controladora 12V proveniente de la batería.** Alimentación de la tarjeta. La tarje es alimentada con 12V, pero todos los componentes emplean 5V para su funcionamiento gracias al regulador LM7805.

**5. Botón de reset. Restablece el control a un punto inicial.** En todos los circuitos con características digitales y micro controlados es necesario un reset para restablecer. Si en algún momento el sistema funciona mal se debe hacer un reset. El mal funcionamiento puede ser producto de una fuerte descarga estática o interferencia que puede hacer perder al micro controlador el rumbo del programa. También sirve para poner la tarjeta en el estado inicial para ser sincronizada.

**6. Botón de sincronización.** Cuando se enciende la tarjeta por primera vez o después de un reset es necesario poner el sistema en modo de sincronización a la espera del primer cambio de luz (día a noche) para iniciar el temporizador interno en el preciso momento del encendido de la lámpara. Con la sincronización se garantiza que el temporizador que maneja intervalos de 12 horas coincida con el amanecer o anochecer. De la tarjeta podemos observar una serie de leds que al momento de la inspección se debe tener en cuenta lo siguiente:





**LOW (color rojo):** Indica que la batería se encuentra agotada.

**SINCRO (verde):** Indica el estado de la sincronización. Encendido y fijo indica que el sistema se encendió por primera vez, pero no se ha dado una orden de sincronización. Intermitente indica que ya se dio la orden de sincronizar pero no ha habido un cambio de luz. Apagado indica que ya se produjo el cambio de luz y se sincronizó el temporizador.

**BATTERY (verde):** Indica que se encendió el relé de carga de batería y por tanto se está cargando la misma.

**LAMP (verde):** Indica que se encendió el relé de encendido de la lámpara y por tanto que la lámpara está encendida.

## **ANEXO VI**

# ESTRUCTURA DEL POSTE

