



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN
ELÉCTRICA SOLAR PARA LA ILUMINACIÓN
EXTERNA DEL MODULAR DE LA ESCUELA DE
INGENIERÍA EN ECOTURISMO”**

NÉSTOR ÁNGEL BEJARANO BEJARANO

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Riobamba – Ecuador

2011

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Diciembre 13 del 2011

Fecha

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

NÉSTOR ÁNGEL BEJARANO BEJARANO

Titulada:

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA SOLAR PARA
LA ILUMINACIÓN EXTERNA DEL MODULAR DE LA ESCUELA DE
INGENIERÍA EN ECOTURISMO”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

f) Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO FACULTAD MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

f) Ing. Jorge Lema M.
DIRECTOR DE TESIS

f) Ing. Rodrigo Díaz.
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: BEJARANO BEJARANO NÉSTOR ÁNGEL

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA SOLAR PARA LA ILUMINACIÓN EXTERNA DEL MODULAR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA EN ECOTURISMO”

Fecha de Examinación: Diciembre 13 del 2011

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
ING. Eduardo Villota (Presidente Tribunal Defensa)			
ING. Jorge Lema (Director de Tesis)			
ING. Rodrigo Díaz (Asesor)			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

DERECHOS DE AUTORÍA

El presente trabajo de grado que se presenta a continuación, es único y está basado en el proceso de investigación y adaptación tecnológica establecida en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos: teórico - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

f) Néstor Ángel Bejarano Bejarano

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme el conocimiento y la voluntad de seguir con mi vida profesional, por darme esa oportunidad de superarme y poner en alto el nombre de nuestra prestigiosa Facultad de Mecánica.

Mis sinceros agradecimiento a los ingenieros Jorge Lema y Rodrigo Díaz quienes me estuvieron guiando en todo momento brindándome el apoyo, para así culminar con éxito este trabajo de investigación.

Por último un agradecimiento especial e infinito a mis padres, hermanos y amigos que estuvieron conmigo en las buenas y en las malas durante toda esta etapa de vida estudiantil.

Néstor Ángel Bejarano Bejarano.

DEDICATORIA

A mis padres José y Margarita que con su amor ejemplo y sacrificio siempre me han brindado su apoyo incondicional y gracias a ellos he podido culminar con éxito esta etapa de mi vida.

A todos mis hermanos en especial a Margarita que ha sido como una segunda madre, les doy gracias con todo mi corazón.

A todos los profesores, compañeros y amigos que forman parte de nuestra Escuela de Ingeniería Mecánica.

Néstor Ángel Bejarano Bejarano.

TABLA DE CONTENIDOS

<u>CAPÍTULO</u>		<u>PÁGINA</u>
1.	GENERALIDADES	
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Justificación.....	2
1.3	Objetivos.....	2
1.3.1	Objetivo general.....	2
1.3.2	Objetivos específicos.....	2
2.	ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE RADIACIÓN	
2.1	Radiación solar.....	3
2.1.1	Radiación solar en el planeta.....	4
2.1.2	Energía solar reflejada.....	5
2.1.3	Radiación recibida y absorbida por la Tierra.....	6
2.2	Radiación ultravioleta.....	6
2.2.1	Luz visible.....	7
2.2.2	Radiación infrarroja.....	7
2.3	Radiación solar en el Ecuador.....	7
2.3.1	Análisis del nivel de radiación solar en Riobamba.....	9
2.3.2	Medición de heliofanía y temperatura promedio.....	9
2.3	Análisis de eficiencia energética y uso racional de energía....	11
2.3.1	Eficiencia energética en iluminación.....	12
2.3.2	Fomento de la eficiencia energética en el Ecuador.....	13
3.	DISEÑO DEL SISTEMA DE ALUMBRADO	
3.1	Conceptos básicos de iluminación.....	16

3.2	Nivel de iluminación para la comodidad y confort.....	18
3.3	Análisis de área.....	20
3.4	Selección de la lámpara.....	22
3.4.1	Lámparas incandescentes.....	22
3.4.2	Lámparas de descarga.....	23
3.4.2.1	Lámparas de vapor de mercurio.....	23
3.4.2.1.1	Lámparas fluorescentes.....	24
3.4.2.1.2	Lámparas de vapor de mercurio de alta presión.....	25
3.4.2.1.3	Lámparas de luz de mezcla.....	26
3.4.2.1.4	Lámparas con halogenuros metálicos.....	28
3.4.3	Lámparas de vapor de sodio.....	29
3.4.3.1	Lámparas de vapor de sodio de baja presión.....	29
3.4.3.2	Lámparas de vapor de sodio de alta presión.....	30
3.5	Selección de la luminaria.....	32
3.5.1	Luminarias para alumbrado público.....	32
3.5.1.1	Luminarias led.....	36
3.5.1.2	Ventajas desde el punto de vista de eficiencia energética.....	36
3.5.1.3	Luminarias led de alta intensidad para exteriores.....	37
3.5.1.4	Características de las luminarias led.....	37
3.5.2	Distribución y altura óptima de las luminarias.....	38
3.6	Determinación de la potencia eléctrica a instalar.....	48
3.7	Análisis de los componentes del sistema fotovoltaico.....	49
3.7.1	Panel solar o generador solar.....	50
3.5.2	Regulador de carga.....	54
3.5.3	Inversor de carga DC/AC.....	56
3.5.4	Baterías o acumuladores.....	58
3.5.5	Interacción entre módulos fotovoltaicos y baterías.....	58
3.5.6	Baterías utilizadas en sistemas fotovoltaicos.....	59
3.6	Cálculo y dimensionamiento del sistema fotovoltaico.....	60
3.6.1	Estimación del consumo requerido.....	63
3.6.2	Dimensionamiento del generador fotovoltaico.....	66
3.6.3	Orientación y ángulo de inclinación de los paneles.....	68
3.6.4	Dimensionamiento del sistema de acumulación.....	73

3.6.5	Dimensionamiento del regulador.....	74
3.6.6	Dimensionamiento del inversor.....	75
3.6.7	Dimensionamiento del cableado.....	75
3.7	Selección del dispositivo controlador del sistema.....	79
3.8	Cálculo para una luminaria led LU2 de 66 Watt.....	80
3.8.1	Cálculo del consumo real.....	80
3.8.2	Dimensionamiento del panel fotovoltaico.....	82
3.8.3	Dimensionamiento de los acumuladores.....	83
3.8.4	Dimensionamiento del regulador de carga.....	83
3.8.5	Dimensionamiento del inversor.....	84
3.8.6	Selección del conductor.....	85
3.9	Dimensionamiento del poste solar.....	86
3.9.1	Material del poste solar.....	86
3.9.2	Forma.....	87
3.10	Mantenimiento de sistemas fotovoltaicos.....	89
3.11	Diseño de los pernos de anclaje.....	90

4. ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

4.1	Generalidades.....	94
4.2	Costos directos.....	94
4.3	Costos indirectos.....	96
4.4	Costo total del proyecto.....	97
4.5	Costo actual de la energía fotovoltaica y convencional.....	97
4.6	Costo real de la energía solar fotovoltaica generada y ahorro anual.....	98
4.7	Análisis comparativo de costos de los sistemas diseñados.....	100
4.8	Ahorro energético.....	102
4.9	Emisiones de CO2 evitados.....	103

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones.....	104
5.2	Recomendaciones.....	105

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

LINKOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

<u>TABLA</u>		<u>PÁGINA</u>
2.1	ENERGÍA SOLAR REFLEJADA.....	5
2.2	ENERGÍA SOLAR RECIBIDA POR LA TIERRA.....	6
2.3	HELIOFANÍA DE RIOBAMBA (horas sol / día).....	10
2.4	TEMPERATURA AMBIENTE PROMEDIO RIOBAMBA (°C).....	11
3.1	TIPO DE DESLUMBRAMIENTO.....	17
3.2	NIVELES DE ILUMINACIÓN SEGÚN EL TIPO DE TRABAJO.....	19
3.3	CLASIFICACIÓN DE LAS VÍAS.....	19
3.4	CLASES DE ILUMINACIÓN PARA DIFERENTES TIPOS DE VÍAS EN ÁREAS PEATONALES.....	20
3.5	PROPIEDADES ELÉCTRICAS DE LAS LÁMPARAS	38
3.6	ARREGLO DE LUMINARIAS.....	41
3.7	ALTURA Y FLUJO DE LÁMPARAS.....	42
3.8	ÁNGULO DE INCLINACIÓN DE PANEL SOLAR EN FUNCIÓN DE LA LATITUD DEL LUGAR.....	70
3.9	RADIACIÓN RECIBIDA CON UN ÁNGULO DE INCLINACIÓN DE 15°	71
3.10	RADIACIÓN RECIBIDA CON UN ÁNGULO DE INCLINACIÓN DE 1.6°	72
3.11	RADIACIÓN RECIBIDA CON UN ÁNGULO DE INCLINACIÓN DE 0°...	72
3.12	CAÍDAS DE TENSIÓN POR TRAMOS.....	77
3.13	CALIBRE DE CABLES SEGÚN EL DIÁMETRO Y ÁREA.....	79
4.1	COSTOS DIRECTOS.....	95
4.2	COSTOS INDIRECTOS.....	96
4.3	COSTOS TOTALES.....	97
4.4	COSTO TOTAL DEL SISTEMA CON LÁMPARA DE SODIO DE ALTA PRESIÓN.....	100
4.5	COSTO TOTAL DEL SISTEMA CON LUMINARIA LED LU2.....	101
4.6	COSTO TOTAL DEL SISTEMA TRADICIONAL.....	101

LISTA DE FIGURAS

<u>FIGURA</u>	<u>PÁGINA</u>
2.1 Radicación visible por el ojo humano.....	3
2.2 Radicación refleja, absorbida e ingresada.....	4
2.3 Distribución de la radicación en el planeta.....	5
2.4 Distribución de la radicación en el Ecuador.....	8
3.1 Concepto de iluminancia.....	17
3.2 Área de iluminación.....	21
3.3 Lámpara fluorescente.....	25
3.4 Lámpara de vapor de mercurio de alta presión.....	26
Lámpara de luz de	
3.5 mezcla.....	27
3.6 Lámpara con halogenuros metálicos.....	28
3.7 Lámpara de vapor de sodio de baja presión.....	29
3.8 Lámpara de vapor de sodio de alta presión.....	31
3.9 Ejemplos de luminarias.....	32
3.10 Diagrama polar $I_{máx}$	34
3.11 Dispersión transversal de una luminaria.....	34
3.12 Arreglo unilateral de luminaria.....	39
3.13 Arreglo de luminarias central doble.....	39
3.14 Arreglo de luminarias bilateral doble.....	40
3.15 Arreglo de luminarias bilateral opuesta sin separador.....	40
3.16 Factor de utilización como función de h.....	44
3.17 Interdistancias entre luminarias.....	48
3.18 Instalación solar fotovoltaica con inversor, utilización a 230Vca.....	50
3.19 Corte transversal de un panel fotovoltaico.....	51
3.20 Panel solar de baja potencia.....	54
3.21 Regulador de carga RPF-30.....	54
3.22 (a) inversor de red marca SLK.....	56
3.22 (b) Tensión de salida de un inversor de onda cuadrada.....	57
3.22 (c) Tensión de salida de un inversor de onda sinusoidal modificada	57
3.23 Batería de almacenamiento de energía solar.....	59
3.24 Definición de las horas pico solares.....	61
3.25 Orientación de un panel solar.....	69
3.26 Ángulo de posicionamiento óptimo en invierno y verano.....	70
3.27 Poste solar forma simple	87
3.28 Poste solar con brazo curvo	87
3.29 Poste solar ornamental	88
3.30 Poste solar con variación del brazo	88
3.31 Poste solar estructural	89
3.32 Diagrama de fuerzas	92

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIACIONES

Símbolo	Definición
°C	Grados Celsius
°K	Grados Kelvin
A	Amperios
Ah	Amperios – hora
Ar	Tamaño del panel solar
AWG	American Wire Gauge.
Borne	Terminal de conexión eléctrica de un dispositivo
cm ²	Centímetros cuadrados
CO	Monóxido de carbono
CO2	Dióxido de carbono
ERNC	Energías renovables no convencionales
FV	Fotovoltaico
FVS	Sistemas fotovoltaicos
SFA	Sistemas fotovoltaicos autónomos
h	Hora
Hertz	Unidad para medir la frecuencia.
HPS	Horas pico solar
I	Radiación solar incidente sobre superficie terrestre
Ics	Constante solar de irradiación
Id	Irradiación
IEC 61215	Normas paneles fotovoltaicos

KW-h	Kilovatio hora
LED	Diodo emisor de luz
Ley de Planck	Intensidad de la radiación emitida por un cuerpo negro
m/s	Metros por cada segundo
Km/h	Kilómetros por cada hora
m²	Metros cuadrados
mA	Miliamperios
Mb	Megabytes
mm	Milímetros
Pa	Pascales
MW/m²	Radiación solar (megavatio por metro cuadrado)
N₂O	Óxido de nitrógeno
NO_x	Óxido nitroso
P	Potencia
SSFV	Sistemas solares fotovoltaicos
Temporización	Control de una acción por tiempo.
V	Voltaje
VAC	Voltaje corriente alterna
VDC	Voltaje corriente directa
V_{pmax}	Voltaje máximo
V_{pn}	Voltaje nominal
W	Vatios
W/m²	Vatios sobre metro cuadrado
Wh/día	Vatios hora sobre día

Wp	Vatios pico
Lux	Medida de iluminancia
Lm	Lumen
Lm/W	Lumen por cada Watt
Em	Iluminancia media
Kt	Factor de utilización
Fm	Factor de mantenimiento
LLC	Línea longitudinal de calzada
LTC	Línea transversal de calzada
O₃	Ozono
nm	Nanómetros
CONELEC	Consejo Nacional de Electricidad
CIE	Comisión Internacional de Iluminación
SLI	Índice específico de la luminaria
SFCR	Sistemas fotovoltaicos conectados a la red
SFA	Sistemas fotovoltaicos autónomos
MEER	Ministerio de Electricidad y Energía Renovable

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO1: Decreto 1681 del gobierno de Rafael Correa
- ANEXO 2: Información técnica controlador de carga.
- ANEXO 3: Información técnica panel fotovoltaico 75 Wp.
- ANEXO 4: Información técnica batería de almacenamiento
- ANEXO 5: Información técnica inversor de voltaje 12VDC/110VCA
- ANEXO 6: Regulación No. CONELEC – 009/06

RESUMEN

En el Diseño de un Sistema de Generación Eléctrica Solar para la Iluminación Externa del modular de la Escuela de Ingeniería en Ecoturismo hace énfasis a la eficiencia energética en iluminación y al uso racional de la energía, considerando algunos factores como: temperatura, heliofanía, latitud geográfica, etc. Este proyecto busca generar energía eléctrica a partir de la energía solar y así minorar la contaminación ambiental, aportando en parte a la remediación ambiental, con el uso de energías renovables y limpias como es la energía solar.

Se estudia la insolación y temperatura promedio existente en la ciudad de Riobamba, para luego estimar la necesidad de energía que alcanzaría a iluminar el área peatonal de la Escuela en Ecoturismo de la Escuela Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) para después emplear paneles solares fotovoltaicos monocristalinos ya que son más eficientes respecto a los demás tipos de paneles. En la demanda energética de las lámparas se consideran las horas que permanecerán encendidas y los días de autonomía de todo el sistema, se ha dimensionado los demás componentes del sistema fotovoltaico, como son: baterías, controlador e inversor de carga. Algo importante que se ve en este tema es la estructura del poste solar su diseño y el pre diseño del plinto donde se monta dicho poste solar.

Finalmente se estudió el de costo del kWh de la energía eléctrica generada por el sistema fotovoltaico añadiendo una comparación de costo entre sistemas similares y se realiza un breve análisis de cuantos Kg de CO₂ se dejará de emitir a la atmosfera.

ABSTRAC

Design of a Solar Electric Generation System t Illuminate the External Module of the Ecotourism Engineering School

In order to create this system, we emphasized the important of an efficient and rational energetic use, considering factors such us: temperature, helium-phonic, geographical latitude, etc. This project seeks to generate electrical energy from the solar energy and minimize the environmental pollution. Thus, this will contribute with the environment improvement through the use of renewable and clean energy such as solar energy.

We studied the insulation and average temperature that exist in the city of Riobamba, and then estimate the amount of energy that will suffice to illuminate the pedestrian area of the Ecotourism Engineering School at ESPOCH (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo). And later install monocrystalline photovoltaic solar panels since they are more efficient than the other panels. To determine the energy demand of the lamps, we considered the hours that they will stay lighten and the days of autonomy of the entire system. Also, we were able to distinguish the other components of the photovoltaic system, like: batteries, charge controller an inverter.

It was also important to study the structure and design of the solar pole, and the pre-design of the plinth where the solar pole will stand on. Additionally, we determined the cost of kWh of the electrical energy generated by a photovoltaic system adding a cost comparison between similar systems.

We recommend the use of software to optimize the calculation. This project should be executed with the help of sponsors that are interested in minimizing the solar radiation impact.

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

Desde el año 2008 el gobierno ecuatoriano ha venido impulsando el desarrollo de un programa de eficiencia energética para el sector público, dentro de los cuales están involucrados establecimientos universitarios, buscando de ahorro de energía y planteando un sistema de medidas que contribuyan a mejorar la eficiencia energética, reduciendo las emisiones y deshechos. Es tanto así que ese mismo año el presidente ecuatoriano a través del decreto 1681, pide que los edificios públicos sean pioneros en buscar la eficiencia energética en sus establecimientos, lo cual solicita que se establezca un comité responsable para el efecto.

A nivel nacional, no está cuantificado el indicador energético de los establecimientos de educación, para según ello tomar medidas que promuevan el uso eficiente y racional de energía.

A través de la ejecución de este proyecto, se pretende aplicar una metodología de desarrollo que permita conocer la necesidad real de energía que se requiere para iluminar la parte externa del modular de la Escuela de Ingeniería en Ecoturismo, escuela que debe dar ejemplo de motivación, impulso y aplicación de energía limpia, como es una de ellas la energía solar.

1.2 Justificación

Una de las necesidades para el confort humano y el buen vivir es una buena iluminación sin contaminar el ambiente ni causar ningún impacto que modifique nuestro ecosistema buscando así un desarrollo sustentable para nuestra sociedad. Esto implica minorar el impacto ambiental en el cual vivimos reduciendo las emisiones de gases, se sabe que el 85% de la energía

consumida a nivel mundial proviene de la quema de combustibles fósiles, los mismos que afectan las condiciones de vida en nuestro planeta.

La energía solar fotovoltaica es una energía renovable que se plantea como una solución para la reducción de emisiones de CO₂ que presenta nuestra sociedad, cada kilovatio de energía solar generada deja de emitir 0,311 Kg de CO₂ en la atmosfera. Por este motivo los gobiernos a nivel local y mundial están haciendo gran énfasis en el uso de energías renovables, la más difundida en nuestro país es la fotovoltaica. Debido a las condiciones geográficas favorables que se encuentra el Ecuador, la energía fotovoltaica resulta viable ya que el índice de incidencia del sol es muy bueno, particularmente en la ciudad de Riobamba hay mayor incidencia de irradiación.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Diseñar un sistema de generación eléctrica solar para la iluminación externa del modular de la Escuela de Ingeniería en Ecoturismo.

1.3.2 Objetivos específicos

- Análisis del potencial de irradiación de la ciudad de Riobamba
- Diseñar el sistema de alumbrado exterior de la escuela
- Diseñar una alternativa de construcción del elemento de apoyo
- Análisis económico y financiero

CAPÍTULO II

2. ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE RADIACIÓN

2.1 Radiación solar

Es el flujo de energía emitida por el sol en forma de ondas electromagnéticas, siendo estas ondas de diferentes tamaños, el sol emite estas radiaciones electromagnéticas a una temperatura de 600 °K aproximadamente. La radiación solar se distribuye desde el infrarrojo hasta el ultravioleta.

Solo parte de la radiación que emite el Sol llega a la Tierra, debido a la existencia de las capas atmosféricas especialmente la capa de ozono, el mismo que bloquea las ondas más cortas llamadas ultravioletas, la radiación solar que llega a la Tierra tiene su magnitud de medida llamada “irradiancia”. [1]

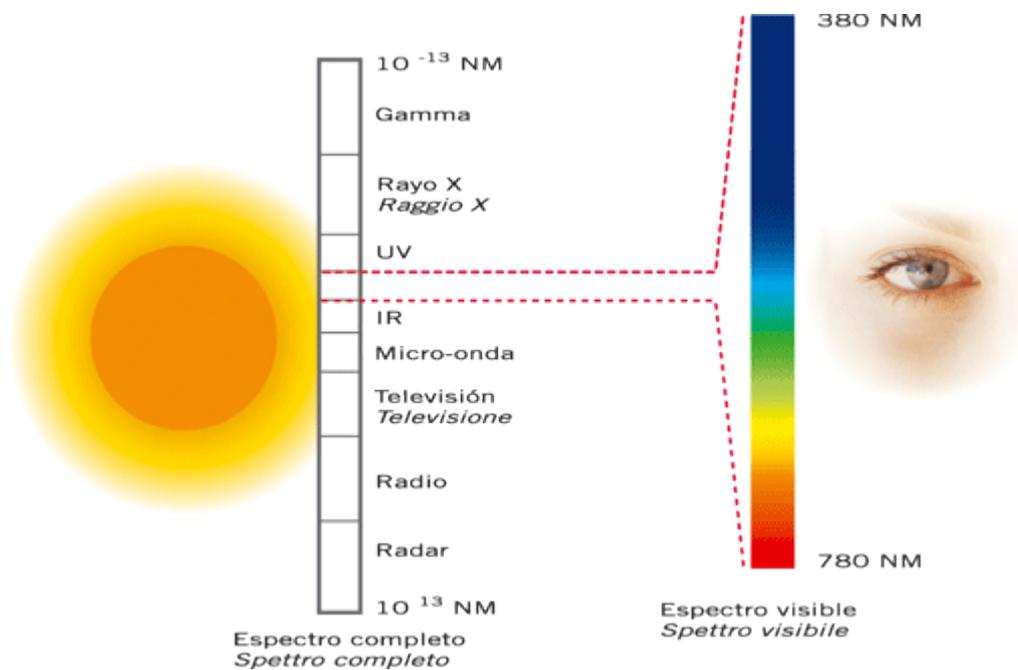


Figura 2.1 Radiación visible por el ojo humano [2]

2.1.1 Radiación solar en el planeta

Gran parte de la energía que alcanza el planeta tierra proviene del Sol esta energía es transmitida en forma de radiaciones electromagnéticas, estas radiaciones se clasifican de acuerdo a sus longitudes de ondas, las más grandes alcanzan tamaños de hasta kilómetros y las más pequeñas se las miden en milésimas de nanómetro.

La energía que alcanza la parte externa de la atmósfera lo hace en una cantidad fija, esta cantidad se denomina constante solar. Esta energía es una mezcla de radiaciones de longitudes de onda entre 200 y 4000 nm, que se diferencia entre radiación ultravioleta, luz visible y radiación infrarroja.

Las capas atmosféricas que posee el planeta Tierra sirven a manera de filtro solar ya que bloquea la mayor parte de radiación solar emitido por el Sol, permitiendo el paso solo de una pequeña parte de esta energía, también la parte externa de la atmosfera ayuda en parte a absorber dichas radiaciones, el resto es reflejado en forma directa al espacio. Esto produce el denominado balance térmico, cuyo resultado es el ciclo del equilibrio radiante. [3]



Figura 2.2 Radiación reflejada, absorbida e ingresada [3]

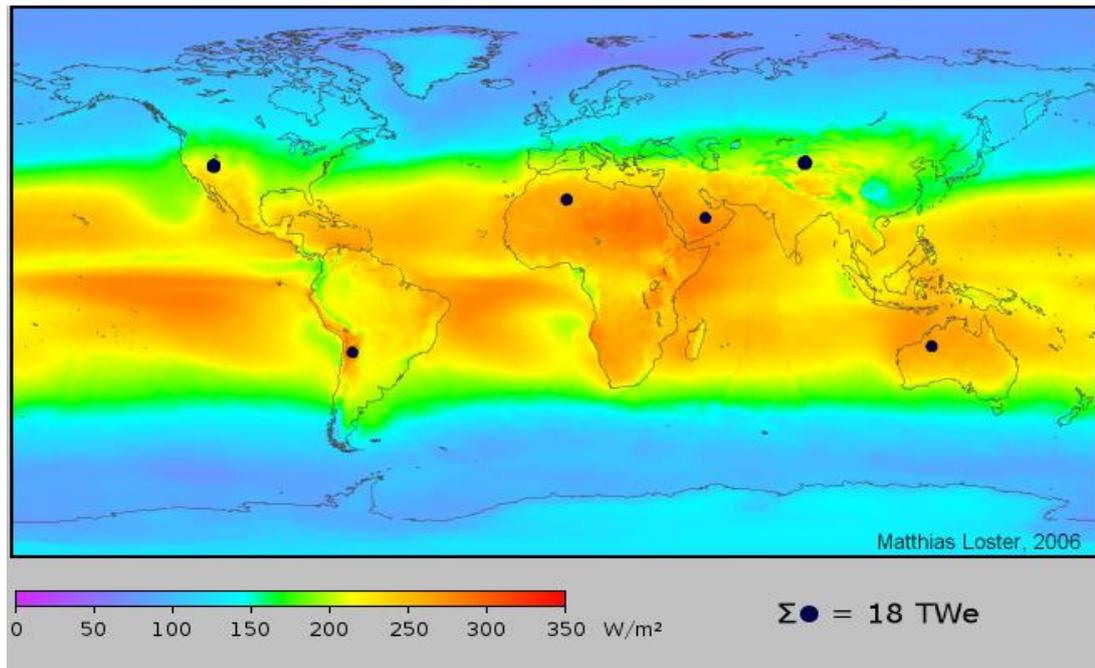


Figura 2.3 Distribución de la radiación en el planeta [3]

La radiación que recibe la superficie terrestre no son de la misma magnitud en todos sus puntos, esto se debe a dos factores, uno la posición relativa de la tierra respecto al sol y la otra al movimiento de traslación del planeta, un claro ejemplo son los lugares que se encuentran en la línea Ecuatorial, estos reciben la mayor parte de la radiación solar emitida hacia la Tierra, llegando a valores de 220 Kcal/(cm²/año) aproximadamente, por el contrario los polos norte y sur son los que menos radiación reciben durante el año, donde hay estimaciones inferiores a 80 Kcal/(cm²/año)

2.1.2 Energía solar reflejada

TABLA 2.1 ENERGÍA SOLAR REFLEJADA [3]

Energía Solar reflejada	Porcentaje %
Radiación reflejada por los materiales terrestres (indirectamente)	10
Radiación reflejada por las nubes (directamente)	24
Total	34

2.1.3 Radiación recibida y absorbida por la Tierra

TABLA 2.2 ENERGÍA SOLAR RECIBIDA POR LA TIERRA [3]

Radiación recibida por la tierra	Porcentaje %	Radiación absorbida por la Tierra	Porcentaje %
Directa a la Tierra	26	por la atmosfera	16
Indirecta a la Tierra	11	por las nubes	2
Difusa a la Tierra	14	por ozono y otros gases	1
Perdida de radiación por reflexión	4		
Radiación total	47		19

En los cuadros anteriores (Tabla 2.1 y tabla 2.2), se observa cómo se distribuye el 100% de la energía proveniente del sol, un 34% (ver tabla 2.1) regresa al espacio exterior, un 24% de forma directa y un 10% de forma indirecta. Un 19% de la energía es absorbida por la atmósfera, mientras que la Tierra recibe un 47% ambas serán regresadas al espacio exterior (ver Tabla 2.2). Esta distribución de la energía hace posible el balance energético en la Tierra. [3]

Según el tipo de radiación se conoce que de los 324 W m^{-2} que llegan a la Tierra, en la parte alta de la atmósfera (1400 W m^{-2} es la constante solar); 236 W m^{-2} son remitidos al espacio en forma de radiación infrarroja, 86 W m^{-2} son reflejados por las nubes y 20 W m^{-2} son reflejados por el suelo en forma de radiaciones de onda corta. Pero el reenvío de energía no se hace directamente, sino que parte de la energía remitida es absorbida por la atmósfera y devuelta a la superficie, originándose el "efecto invernadero". [3]

2.2 Radiación ultravioleta

Este tipo de radiación tiene su longitud de onda mucho menor que las demás radiaciones (360 nm), son absorbidas casi en su totalidad por la parte alta de la atmosfera terrestre, específicamente por la capa de ozono (O_3), previniendo así el cáncer de piel a la humanidad.

2.2.1 Luz visible

Esta radiación tiene sus longitudes de ondas entre (360 nm – 760 nm), y corresponde a la zona visible. Esta luz visible traspasa la atmósfera limpia, pero cuando hay nubes o masas de polvo parte de ella es absorbida o reflejada.

2.2.2 Radiación infrarroja

Este tipo de radiación tienen sus longitudes de onda más largas están alrededor de 760 nm, su efecto aumenta la agitación de las moléculas, provocando el aumento de la temperatura. El CO₂, el vapor de agua y las pequeñas gotas de agua que forman las nubes absorben con mucha intensidad las radiaciones infrarrojas.

2.3 Radiación solar en el Ecuador

El aprovechamiento de la energía solar está vinculado directamente con la intensidad de radiación solar incidente sobre un área determinada, por lo que es necesario contar con registros de radiación confiables que puedan emplearse en el diseño de equipos que aprovechen la energía solar.

El Ecuador es un país muy privilegiado con características topográficas muy variadas, con una gran diversidad climática y condiciones únicas que le brinda un elevado potencial de energías renovables y limpias, las cuales no pueden quedar en la lista de los Recursos Energéticos para Producción Eléctrica, las condiciones de contaminación y demanda que se presenta en la actualidad nuestro país, nos han promovido en hacer énfasis para aprovechar la radiación solar como recurso renovable de generación eléctrica, ya que en el Ecuador se tiene la más alta radiación a nivel mundial, desde el punto de vista de producción de energía eléctrica es muy favorable ya que si se aprovechara todos los recursos de energía renovable ya sea energía hidroeléctrica, eólica o solar el Ecuador no tendría que comprar energía eléctrica de los países vecinos. [4]

En el año 2008 con el fin de impulsar el uso masivo de la energía solar como fuente energética, el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) con el apoyo de la Corporación para la

Investigación Energética (CIE) presento el “Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica”.

Este Atlas se ha puesto a disposición de las instituciones públicas y privadas, la comunidad científica y público en general, este documento incluye la cuantificación del potencial solar aprovechable con posibilidades de generación eléctrica, donde se presentan los valores promedio de radiación solar diaria, mensual o anual. El uso de estos mapas de radiación es importante para determinar las zonas geográficas que tienen un alto potencial para su aprovechamiento y para el pre diseño de los equipos que utilizan como fuente la energía solar. [5]

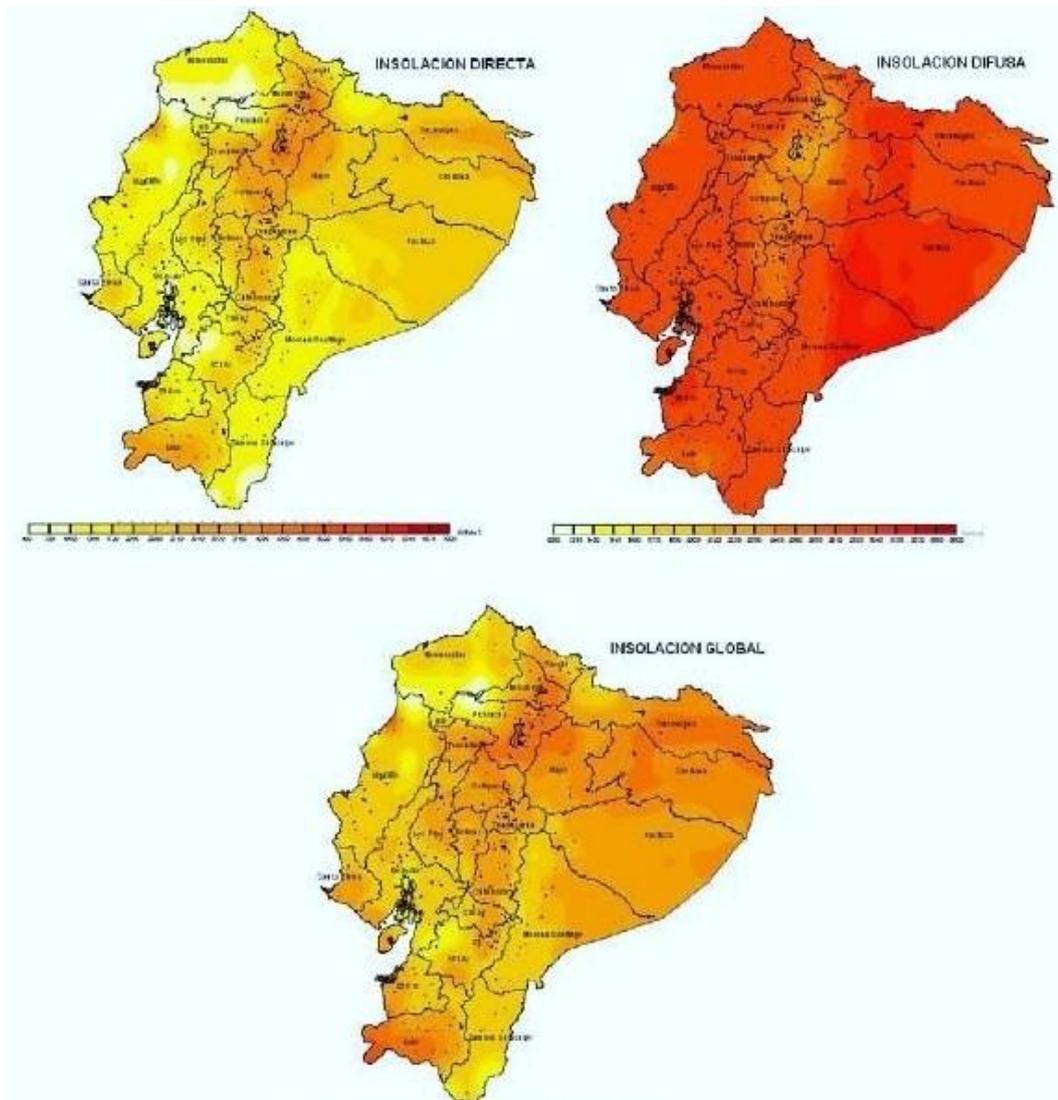


Figura 2.4 Distribución de la radiación en el Ecuador [6]

Los mapas de radiación solar se elaboran a partir de mediciones vía satélite o a partir de los datos obtenidos en las ciudades, y raras veces, se tienen en cuenta los niveles de radiación solar

a nivel de las zonas rurales. No obstante, estos datos tienen cierta incertidumbre propia de la tecnología empleada, a lo que se suma, que la mayoría de datos están referidos a grandes extensiones de territorio, por lo que su uso se hace limitado y poco práctico.

Esta limitación puede conducir al sobre o sub dimensionamiento de los equipos de aprovechamiento de la radiación solar. Esta falla en los diseños puede tener graves consecuencias en lo que respecta a costos de inversión, operación o mantenimiento, así como la sostenibilidad de los sistemas cuando ellos no cumplen con el fin para el cual fueron instalados.

2.3.1 Análisis del nivel de radiación solar en Riobamba

La radiación en nuestro país es tan intensa que solo con la energía solar se puede abastecer fácilmente las necesidades de energía eléctrica, sin estar quemando combustibles fósiles, ni utilizando ningún otro tipo de fuente energética, la utilización de la radiación solar como fuente energética es favorable para reducir el impacto ambiental por la que atravesamos en la actualidad, estudios científicos realizados han determinado que cada kilovatio de energía solar generada deja de emitir 0,311 Kg de CO₂ en la atmosfera, minorando así de forma favorable la contaminación ambiental.

Por tal razón se debe realizar un estudio profundo de la radiación existente en la ciudad de Riobamba, con el fin de asegurar e impulsar proyectos fotovoltaicos ya sea en las zonas urbanas o rurales.

Para un análisis profundo de radiación solar en una determinada área lo más recomendable es hacer un estudio en un periodo largo de tiempo, por día, por mes, por año o varios años.

2.3.2 Medición de heliofanía y temperatura promedio

Desde el año de 1975 donde fue fundada la Estación Meteorológica de la ESPOCH, este departamento ha venido tomando datos de los principales meteoros que tienen influencia directa en el clima, tales como; Heliofanía, Temperatura, Humedad, Viento, Precipitación, Evaporación, Visibilidad y Nubosidad. [7]

Los datos obtenidos diariamente son procesados estadísticamente, para obtener los valores normales, medias, máximas y mínimas, con los cuales se realiza boletines mensuales y posteriormente anuarios, los cuales son entregados a la biblioteca de la Facultad de Recursos Naturales.

Con la finalidad de garantizar un buen análisis de energía solar disponible, por tanto el dimensionamiento óptimo del sistema fotovoltaico, es necesario conocer datos de heliofanía y temperatura promedio en un lapso de 11 años.

En la Tabla 2.3, se muestran los datos estadísticos de la heliofanía existente en Riobamba, de los últimos 11 años:

TABLA 2.3 HELIOFANÍA DE RIOBAMBA (horas sol / día) [8]

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
2001	5,4	5,5	4,2	4,7	5,2	6,8	3,1	2,7	4,3	7,1	5,5	6,1	5,1
2002	6,3	4,8	3,6	4,6	3,8	3,4	4,2	4,8	4,7	3,8	2,6	2,9	4,1
2003	3,8	3,3	2,3	3,1	1,8	1,5	5,0	2,6	1,7	5,3	5,3	4,7	3,5
2004	8,1	4,8	3,4	4,2	4,9	5,5	5,5	6,3	4,5	5,2	5,3	6,1	5,3
2005	6,7	4,4	3,2	5,9	4,9	5,4	7,2	5,2	5,5	3,8	7,6	3,1	5,2
2006	4,8	6,7	4,3	3,9	6,7	5,5	5,3	4,2	4,1	5,7	5,2	4,2	5,0
2007	3,2	6,2	3,8	3,8	5,3	3,7	7,0	5,2	3,1	4,4	5,0	4,5	4,6
2008	5,23	3,8	4,2	4,5	4,5	5,8	5,94	5,5	5	5,4	5,13	5,3	5,025
2009	3,9	3,4	5,4	4,8	6,2	5,1	5,9	3,9	6,7	5,7	6,6	6,4	5,33
2010	5,9	5,1	5,7	4,6	4,8	4,2	6,6	7,0	6,0	5,5	4,8	4,3	5,375
2011	6,1	4,0	6,1	4,5	5,4	5,7	6,5	7,1	4,0	7,3	-	-	5,06

Luego del respectivo análisis se ha encontrado que la heliofanía promedio en la ciudad de Riobamba es de 4.86 horas sol/día, pero para dar un factor de seguridad que nos de confiabilidad para el sistema se ha tomado el valor mínimo que corresponde a **3.5 horas sol/día.**

Otro factor importante es la temperatura ambiental ($^{\circ}\text{C}$) del lugar, con el propósito de determinar la eficiencia aproximada por temperatura de los paneles fotovoltaicos.

Los datos de temperatura que se presentan a continuación han sido medidos por la estación meteorológica de la ESPOCH.

TABLA 2.4 TEMPERATURA AMBIENTE PROMEDIO DE RIOBAMBA (°C) [8]

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
2001	12,9	13	13,1	13,6	13,7	12,6	12,8	13,9	13	14,9	14,2	14,5	13,5
2002	14,4	14	13,9	14,2	13,9	12,3	12,9	12,4	13,1	13,1	12,9	13,7	13,4
2003	14,1	14	13,4	12,8	13,3	11,8	12,1	12,9	14,4	14,6	14,2	13,8	13,5
2004	15,5	14	14,4	13,8	13,8	12,8	12,5	12,6	13,4	14,2	14,3	14,4	13,8
2005	17,1	15	13,5	14,3	14,9	13,8	13,3	13,4	14	13,8	14,5	13,7	14,2
2006	14	14	13,6	13,7	13,8	12,5	12,6	12,9	13,2	14,4	13,6	14,1	13,6
2007	14,6	15	13,8	13,4	13,8	12	12,9	12,3	12,1	13,4	13,6	14,3	13,4
2008	15,25	14,4	14,15	14,05	14,2	13,6	13,1	12,95	13,85	14,6	14,8	14,55	14,13
2009	14,75	13,75	15,6	15,05	14,55	14,25	14,5	14,15	14	15,9	15,35	16,4	14,82
2010	15,3	15,7	16,15	15,9	15,4	15,05	13,8	12,6	13,8	14,3	14,3	14,0	14,69
2011	14,1	13,7	14,3	13,3	13,5	13,0	12,2	12,9	11,7	14,0	-	-	13,27

El valor promedio de temperatura ambiente para la ciudad de Riobamba es de 13,85 °C

3.3 Análisis de eficiencia energética y uso racional de energía

En los últimos años el consumo de energía eléctrica se ha elevado a un ritmo acelerado muy superior al crecimiento económico, debido a este ritmo de crecimiento se deben tomar una serie de acciones que reduzca el índice de consumo energético, y para esto debemos eliminar todas las producciones y servicios que no están haciendo trabajo útil en el horario de máxima demanda. Sin embargo, es fácil darse cuenta que algo se está malgastando cuando se observa una llave que derrama agua, combustible, petróleo, etc., pero cuesta percibir que está sucediendo igual cuando se deja encendida una lámpara, la radio, el televisor, etc. [9]

Es de imaginarse cómo se podría vivir sin la vital electricidad, qué sería de todos los adelantos y la tecnología, si un día dejara de existir, en su gran mayoría, perdería el valor que por ello se paga, sin la electricidad para hacerlo funcionar.

Todo esto es para reflexionar y pensar en la necesidad de no malgastar este recurso, ni los que la hacen posible. En vista de esto se están emprendiendo planes, programas económicos y energéticos, con la finalidad de aumentar las reservas existentes y reducir el uso desproporcionado que se tiene de la energía eléctrica, como es el caso del presente trabajo que enmarca dentro de sus lineamientos un programa de ahorro de energía eléctrica para iluminación, en una parte de una institución educativa.

Además, son muchas las posibilidades de reducción del consumo de energía que se gasta en iluminación, desde el simple cambio de una lámpara hasta la implementación de nuevos sistemas con equipamiento más eficiente desde el punto de vista de consumo eléctrico.

Pensando en ello se ha desarrollado una tecnología de bajo consumo de energía lámparas LED y sistemas de iluminación que ahorran energía, tienen una mayor duración y ayudan, de esta forma, a evitar riesgos de racionamiento y ayudan en parte a evitar el cambio climático por el cual atravesamos.

2.3.1 Eficiencia energética en iluminación

La eficiencia energética es un concepto que ha cobrado importancia en los años recientes, el calentamiento global, los gases de efecto invernadero, las contaminantes formas de producir energía entre otros factores, han llevado a los gobiernos a dictar leyes que impidan la destrucción del ambiente, así mismo están surgiendo nuevas tecnologías más eficientes, y amigables con la biósfera que aprovechan los recursos naturales sin dañar el ecosistema, consumiendo energía limpia, renovable, “energía verde” que nos beneficia con el ahorro del consumo energético y preserva el entorno ambiental. [10]

El tema ambiental ha pasado de ser un discurso diplomático a ser la mayor preocupación con la que todos los trabajos de explotación de recursos y desarrollo de tecnologías están siendo elaborados.

Es por tanto imprescindible que todas las decisiones tomadas tengan en cuenta, el apropiado manejo de los recursos naturales así como el uso eficiente de la energía, que permita una menor contaminación del medio ambiente, así como el desarrollo sostenible de los pueblos, mediante el ahorro económico que esto representa.[11]

Un plan de eficiencia energética tiene como objetivos entre otros los siguientes:

- La reducción del consumo y la intensidad energética.
- Mejoras ambientales, con la disminución de de emisiones contaminantes a nivel local y global.
- Disminución de los costos de operación.
- Reducción y retraso de las reinversiones en equipos, permitiendo aumentar los plazos de amortización de los mismos.
- Aumento del tiempo operativo de su proceso productivo.
- Mejora en la calidad y tiempos de respuesta.

2.3.2 Fomento de la eficiencia energética en Ecuador

Al igual que en los países del primer mundo Ecuador se involucra para ayudar en la mitigación del problema ambiental del planeta Tierra, para ello se ha propuesto fomentar la Ley de Eficiencia Energética, en nuestro país aun no existe dicha ley pero se está haciendo gran énfasis para difundir esta problemática a todos los organismo, empresas públicas y privadas, etc. [12]

El gobierno local mediante el decreto N° 1681 establece que los organismos que conforman la administración del sector comercial, servicios y públicos, establezcan un cambio de técnicas eficientes en la iluminación, para lo cual se organizará programas de difusión de uso racional de energía, el mismo que será dirigido hacia todo su personal.

Mediante el “**Plan del Buen Vivir**” uno de los objetivos que se persigue es garantizar los derechos de la naturaleza, promover un ambiente sano y sustentable, diversificando la matriz energética nacional y promoviendo la eficiencia con mayor utilización de energías renovables sostenibles este plan especifica lo siguiente: [13]

- Aplicar programas, e implementar tecnología e infraestructura orientadas al ahorro y a la eficiencia de las fuentes actuales y a la soberanía energética.
- Aplicar esquemas tarifarios que fomenten la eficiencia energética en los diversos sectores de la economía.

- Impulsar la generación de energía de fuentes renovables o alternativas con enfoque de sostenibilidad social y ambiental.
- Promover investigaciones para el uso de energías alternativas renovables, incluyendo la mareomotriz y la geotermia, bajo parámetros de sustentabilidad en su aprovechamiento.
- Reducir gradualmente el uso de combustibles fósiles en vehículos, embarcaciones y generación termoeléctrica, y sustituir gradualmente vehículos convencionales por eléctricos en el archipiélago de Galápagos.
- Diversificar y usar tecnologías ambientalmente limpias y energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto en la producción agropecuaria e industrial y de servicios.

El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable busca desarrollar políticas y proyectos que permitan satisfacer la demanda energética del país en el corto, mediano y largo plazo, y diversificar paulatinamente la actual matriz energética, la misión del MEER, es servir a la sociedad ecuatoriana, mediante la formulación de la política nacional del sector eléctrico y la gestión de proyectos. Promover la adecuada y exitosa gestión sectorial, sobre la base del conocimiento que aporta gente comprometida con la sostenibilidad energética del Estado. Para lo cual se ha trazado objetivos como: [14]

- La planificación de la matriz energética
- Incrementar la cobertura eléctrica
- Fortalecer y transformar las instituciones Estatales de Energía
- Asegurar la confiabilidad y calidad del suministro
- Promover el uso eficiente y racional de la energía
- Fomentar la integración energética regional

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DEL SISTEMA DE ALUMBRADO

La finalidad del alumbrado exterior o comúnmente llamado “alumbrado público” es contribuir a crear un ambiente visual nocturno agradable a la vida de los transeúntes, de forma que alcance una disminución del riesgo de accidentes y un aumento de la fluidez de la circulación, creando condiciones confortables y una visibilidad aceptable para el peatón, su seguridad y la de los edificios y bienes del entorno. Además, dichas instalaciones no pueden separarse del aspecto urbanístico, social e histórico si esta iluminación fuera en la ciudad, de ahí que se desarrolle cada vez más la iluminación ornamental de edificios y monumentos con la finalidad de realzarlos.

En la mayoría de los sistemas de alumbrado exterior comúnmente utilizan lámparas incandescentes, de vapor de mercurio, vapor de sodio, al avanzar la tecnología este tipo de lámparas llegan a un punto que dejan de ser eficientes desde el punto de vista energético.

El uso indiscriminado de iluminación exterior, así como el tipo de luminarias que se han estado utilizando han creado una serie de problemas al ecosistema, a la navegación aérea, a las observaciones astronómicas, y al ambiente nocturno en general. Por ello se ha estado trabajando en iniciativas para reducir este problema sin restringir la seguridad, que es uno de los principales objetivos del uso de iluminación exterior. [15]

En el presente proyecto tiene como objetivo proporcionar confort a los estudiantes de la Escuela de Ecoturismo y demás peatones que transitan por la mencionada escuela, también cabe recalcar que con esto se busca fomentar la eficiencia energética en nuestra Escuela Politécnica buscando de esta forma llevar a nuestra universidad a proyectarse como una **universidad verde**.

Los factores fundamentales que se deben tener en cuenta al realizar el diseño de una instalación son los siguientes: [16]

- Iluminancias requeridas (niveles de flujo luminoso (lux) que inciden en una superficie)
- Uniformidad de la repartición de las iluminancias

- Limitación de deslumbramiento
- Limitación del contraste de luminancias
- Color de la luz y la reproducción cromática
- Selección del tipo de iluminación, de las fuentes de luz y de las luminarias

Por lo tanto es importante tener en cuenta la cantidad y calidad de luz necesaria, siempre en función de la dependencia que se va a iluminar y de la actividad que en ella se realizará.

3.1 Conceptos básicos de iluminación [17]

Iluminación.- Del latín illuminatio, acción y efector de de iluminar, es la relación de flujo luminoso incidente en una superficie por unidad de área, expresada en lux, la iluminación no es tan solo proporcionar simplemente luz, sino permitir que las personas reconozcan sin error lo que ven, en un tiempo adecuado y sin fatigarse.

Flujo luminoso.- Se define el flujo luminoso como la potencia (W) emitida en forma de radiación luminosa a la que el ojo humano es sensible. Su símbolo es Φ_v y su unidad es el lumen (lm). A la relación entre watts y lúmenes se le llama equivalente luminoso de la energía y equivale a:

$$1 \text{ watt-luz a } 555 \text{ nm} = 683 \text{ lm}$$

Luminancia.- Flujo reflejado por los cuerpos, o el flujo emitido, si un objeto es una fuente de luz. Es el único concepto que mide realmente lo que nosotros vemos de la luz, ya que hace referencia a la claridad o brillo con que vemos las distintas superficies. La luminancia se mide en candelas por superficie (Cd/m^2).

Iluminancia.- Se define como iluminancia el flujo luminoso recibido por una superficie. Su símbolo es E y su unidad el lux (lx) que es un lumen/m^2



Figura 3.1 Concepto de iluminancia [18]

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 ángulo sólido cualquiera, cuyo eje coincida con la dirección considerada, y el valor de dicho ángulo sólido expresado en estereorradianes.

Temperatura de color.- las fuentes de luz pueden crear atmósferas cálidas o frías en su apariencia. La temperatura de color, expresada en grados Kelvin ($^{\circ}\text{K}$), es una forma de describir esta tonalidad. Cuanto mayor sea la temperatura de color, la luz será más fría y azulosa.

Deslumbramiento.- El deslumbramiento es una sensación molesta que se produce cuando la luminancia de un objeto es mucho mayor que la de su entorno, existen distintos tipos de deslumbramientos (directo, indirecto o perturbado), siendo las causas de los mismos. Las fuentes luminosas y las superficies que reflejan luz. [19]

TABLA 3.1 TIPO DE DESLUMBRAMIENTO [18]

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

3.2 Nivel de iluminación para la comodidad y confort

Dentro de la comodidad y el confort humano está la iluminación tanto externa como interna, para realizar sus actividades diarias. En este sentido la actividad laboral, para que pueda desarrollarse de una forma eficaz, precisa que la luz (característica ambiental) y la visión (característica personal) se complementen, ya que se considera que el 50% de la información sensorial que recibe el hombre es de tipo visual, es decir, tiene como origen primario la luz. Un tratamiento adecuado del ambiente visual permite incidir en los aspectos de: [20]

- Seguridad
- Confort.
- Productividad

La integración de estos aspectos comportará un desenvolvimiento seguro, cómodo y eficaz. El propósito de este estudio técnico es concretar algunas nociones de la iluminación del área externa del modular de la Escuela en Ecoturismo y plantear el análisis de los mismos.

Si se habla de niveles de iluminación, en muchos casos existen estudios ya realizados y se rigen en su mayoría a las normativas de cada país, las mismas que son tomadas dependiendo de las necesidades y tomando en cuenta las recomendaciones que hace la International Commission on Illumination (CIE), aquí en el Ecuador aun no existe una normativa que recomiende o exija un nivel de iluminación estándar dependiendo de la zona a ser iluminada, pero para este caso se va tomar mucho en cuenta las recomendaciones que hacen organismos internacionales también las recomendaciones de las normas de otros países.

En todos los estudios ya realizados se ha visto que los niveles de iluminación para vías públicas es según el tipo de vía y para áreas de trabajo dependiendo el tipo de trabajo

TABLA 3.2: NIVELES DE ILUMINACIÓN SEGÚN EL TIPO DE TRABAJO [21]

Nivel de iluminación	Tipo de trabajo
1000 lux	Joyería, relojería e imprenta
500 a 1000 lux	Ebanistería
300 lux	Oficina, bancos de taller
200 lux	Industrias conserveras, carpinterías metálicas
100 lux	Sala de maquinas y calderas depósitos de máquinas
50 lux	Manipulación de mercancías
20 lux	Patios galerías y lugares de paso

Valores mínimos para iluminación en España

En la vía para tráfico peatonal se tienen recomendaciones como:

TABLA 3.3 CLASIFICACIÓN DE LAS VÍAS [22]

Clasificación	Tipo de vía	Velocidad del tráfico rodado Km/h
A	De alta velocidad	$V > 60$
B	De velocidad moderada	$30 < V \leq 60$
C	Carriles bici	-
D	De baja velocidad	$5 < V \leq 30$
E	Vías peatonales	$V \leq 5$

TABLA 3.4 CLASE DE ILUMINACIÓN PARA DIFERENTES TIPOS DE VÍAS EN ÁREAS PEATONALES [18]

Tipo de vía	Iluminancia media (lux)	Luminancia media (cd/m ²)
A	35	2
B	35	2
C	30	1.9
D	28	1.7
E	25	1.4

Al analizar estas recomendaciones los mismos que están en función de la situación y condiciones de uso, se toma la decisión que el nivel de iluminación óptimo debería ser entre 20 a 25 lux debido a que en esta área en la que se va iluminar no es transitada por vehículos sino por peatones.

Se toma el nivel de iluminación de 20 luxes

3.3 Análisis del área.

El área total del modular de la Escuela en Ecoturismo es de 6210 m² en su totalidad, pero el área a iluminar comprende las partes laterales del mismo por lo tanto el área a iluminar se reduce considerablemente siendo finalmente esta es de 2704.190 m² incluyendo el paso peatonal que va desde la acera hasta la entrada principal del modular. Para su mejor entendimiento de ha realizado un plano de implantación de esta área.

Se realiza un breve análisis de esta área y finalmente se concluye que para dichas distancias se debería instalar una altura de poste de aproximadamente de 15 metros que viéndole desde el punto de vista estético es algo absurdo, por tal razón se reduce las distancias del área de iluminación y se concluye que hasta los 11 metros se tendrá la iluminación especificada en el numeral anterior, que es 25 luxes, en la distancia restante se tendrá una menor intensidad de iluminación.

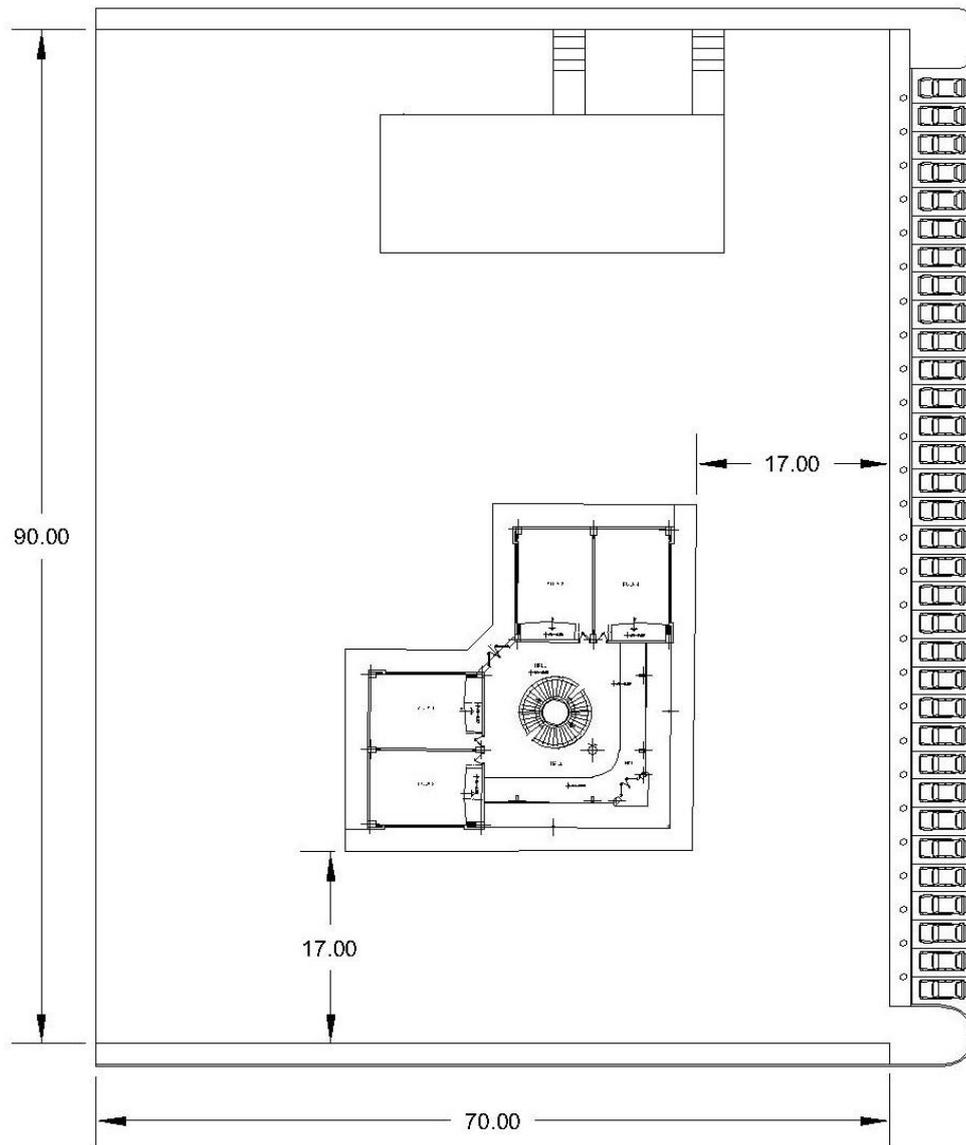


Figura 3.2 Área de iluminación [23]

Área de iluminación:

$$A_{\text{iluminación}} = A_1 + A_2 \quad (3.1)$$

Área 1:

$$A_1 = L_1 \times H_1$$

$$A_1 = (69.64 \times 11) \text{ m}^2$$

$$A_1 = 766.04 \text{ m}^2$$

Área 2:

$$A_2 = L_2 \times H_2$$

$$A_2 = (72.43 \times 11) \text{ m}^2$$

$$A_2 = 796.73 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{iluminación}} = 766.04 + 796.73 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{iluminación}} = 1562.77 \text{ m}^2$$

En los planos de la Escuela de Ecoturismo no consta un proyecto de ampliación en donde muestre lo que incrementaría alguna área de recreación pero ha considerado una distancia de 10 metros más en caso de que esto se diera.

3.4 Selección de la lámpara

Las fuentes de luz o lámparas eléctricas que se encuentran disponibles en el mercado para iluminación de vías públicas se clasifican en dos grupos:

- Lámparas incandescentes
- Lámparas de descarga

3.4.1 Lámparas incandescentes [17]

Estas lámparas consisten en un filamento que es un conductor altamente refractario, el cual se calienta por el paso de una corriente eléctrica hasta una temperatura tan alta, que la radiación emitida cae en la región visible del espectro.

La vida útil de una lámpara equivale al número de horas de funcionamiento antes de que la potencia luminosa se reduzca a un 80 %, la vida útil de estas lámparas varía desde 750 hasta 1000 horas para otras a veces hasta 2500 horas.

En las lámparas incandescentes son muy influenciadas sus características debido a las variaciones de tensión.

Ventajas:

- Bajo precio
- Su forma y tamaño es pequeña
- Su factor de potencia es casi igual a 1

- El color de luz se hace agradable al ojo humano

Desventajas:

- Corta vida útil
- Las variaciones de tensión interviene en la vida útil
- Luminancia fuerte
- Eficacia luminosa muy baja
- Alto consumo de energía

3.4.2 Lámparas de descarga [17]

Las lámparas de descarga se pueden clasificar según el gas utilizado (vapor de mercurio o sodio) o la presión a la que este se encuentre (alta o baja presión). Las propiedades varían mucho de unas a otras y esto las hace adecuadas para unos usos u otros.

Las lámparas de descarga que más se utilizan en alumbrado público son:

- Lámparas de vapor de mercurio
 - Baja presión
 - Lámparas fluorescentes
 - Alta presión
 - Lámparas de vapor de mercurio a alta presión
 - Lámparas de luz de mezcla
 - Lámparas con halogenuros metálicos
- Lámparas de vapor de sodio
 - Lámparas de vapor de sodio a baja presión
 - Lámparas de vapor de sodio a alta presión

3.4.2.1 Lámparas de vapor de mercurio [17]

Se conoce como lámparas de vapor de mercurio a las que emiten luz producida por la excitación de los átomos de mercurio contenidos en un tubo de descarga, la lámpara

constituye de un balastro para controlar el aumento de corriente y un transformador para aumentar el voltaje de línea cuando este sea inferior a 240 V.

Estas lámparas se instalan en regímenes de voltaje de 120 y 240 V. y sus potencias están dentro de los márgenes de 80, 100, 125, 175 250, 400, 700 y 1000 vatios.

El rendimiento de las lámparas de mercurio varía de 40 a 60 lm/W según su potencia que es superior al de las lámparas incandescentes de alta potencia, la vida promedio es de unas 16000 horas, en determinados tipos pero nunca menos de 8000 horas.

La frecuencia de encendido tiene gran influencia sobre la vida de la lámpara, por eso se considera una conexión cada 3 horas.

Las desventajas que presentan este tipo de lámparas son:

- La corriente de arranque es casi el doble que la nominal
- Su encendido no es instantáneo, necesita un cierto tiempo hasta que la lámpara alcance su máxima emisión
- No reproduce perfectamente los colores, razón por la cual su campo de aplicación es limitado

Entre las ventajas se tiene:

- Potencia más elevada
- Tamaño reducido
- Buena eficiencia luminosa
- Bajo costo de mantenimiento

3.4.2.1.1 Lámparas fluorescentes [17]

Las lámparas fluorescentes son lámparas de vapor de mercurio a baja presión (0.8 Pa). Se las recubren las paredes interiores del tubo con polvos fluorescentes para que conviertan los rayos ultravioletas en radiación visible. De la composición de estas sustancias depende la cantidad y calidad de luz, y las cualidades cromáticas de la lámpara.

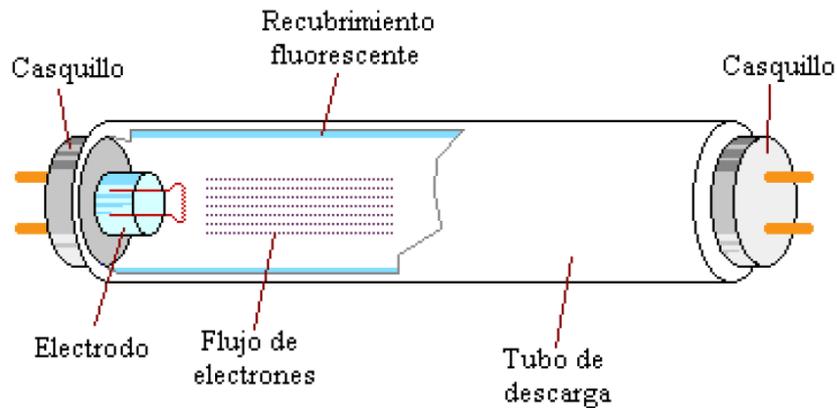


Figura 3.3 Lámpara fluorescente [18]

Estas lámparas se caracterizan por no tener ampolla exterior. Están formados por un tubo de diámetro normalizado, normalmente cilíndrico, cerrado en cada extremo con un casquillo de dos contactos donde se alojan los electrodos. El tubo de descarga está relleno con vapor de mercurio a baja presión y una pequeña cantidad de un gas inerte que sirve para facilitar el encendido y controlar la descarga de electrones.

La eficiencia de estas lámparas oscila entre 38 y 91 lm/W dependiendo de las características de cada lámpara, su eficiencia depende mucho de los factores de potencia, tipo y presión del gas de relleno, propiedades de la sustancia fluorescentes que recubre el tubo, temperatura ambiente.

La vida útil se sitúa entre 5000 a 7000 horas, el rendimiento en color varía de moderado a excelente según las sustancias fluorescentes utilizadas.

En la actualidad han aparecido las lámparas fluorescentes compactas que llevan incorporado el balasto y el cebador. Son lámparas pequeñas con casquillo de rosca o bayoneta pensadas para sustituir a las lámparas incandescentes con ahorros de hasta el 70% de energía y unas buenas prestaciones.

3.4.2.1.2 Lámparas de vapor de mercurio a alta presión [17]

A medida que se incrementa la presión del vapor de mercurio en el interior del tubo de descarga, la radiación ultravioleta característica de la lámpara a baja presión pierde importancia respecto a las emisiones en la zona visible (violeta de 404.7 nm, azul 435.8 nm,

verde 546.1 nm y amarillo 579 nm). Para estas condiciones la luz emitida, de color azul verdoso, no contiene radiaciones rojas. Para mitigar este problema normalmente se añade sustancias fluorescentes que emitan en esta zona del espectro, de esta forma se consigue mejorar las características cromáticas de la lámpara.

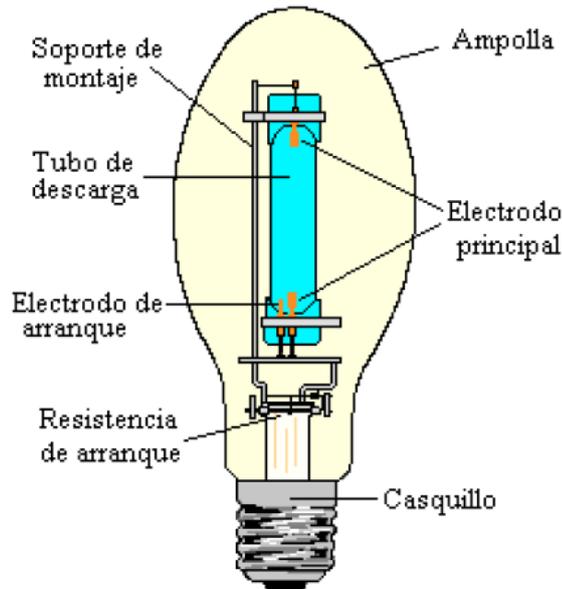


Figura 3.4 Lámpara de vapor de mercurio de alta presión [18]

Si hablamos de la vida útil de estas lámparas, teniendo en cuenta la depreciación se establece en unas 8000 horas, la eficiencia oscila entre 40 y la lm/W que aumenta con la potencia, aunque para una misma potencia es posible incrementar la eficacia añadiendo un recubrimiento de polvos fosforescentes que convierten la luz ultra violeta en luz visible.

La temperatura de color se mueve entre 3500 y 4500 °K con índices de rendimiento en color de 40 a 45 normalmente.

3.4.2.1.3 Lámparas de luz de mezcla [17]

Las lámparas de luz de mezcla son una combinación de una lámpara de mercurio a alta presión con una lámpara incandescente y habitualmente, un recubrimiento fosforescente. El resultado de esta mezcla es la superposición, al espectro del mercurio, del espectro continuo

característico de la lámpara incandescente y las radiaciones rojas provenientes de la fosforescencia.

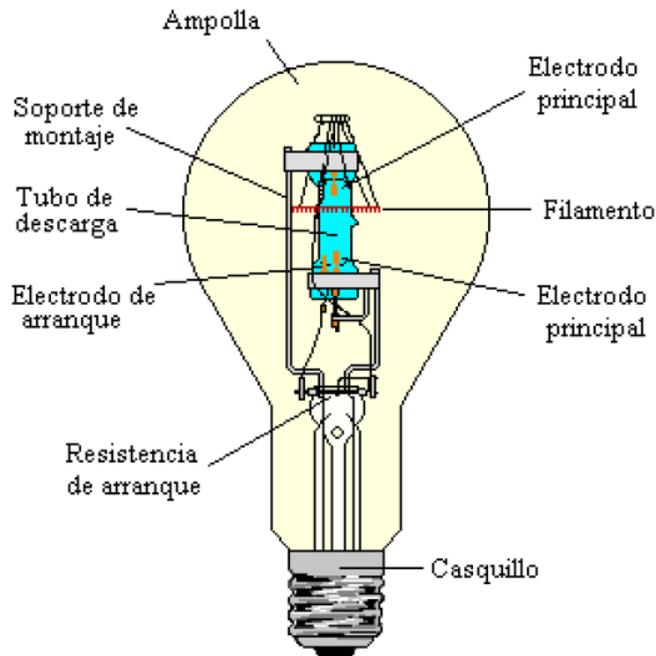


Figura 3.5 Lámpara de luz de mezcla [18]

Su eficacia se sitúa entre 20 y 60 lm/W y es el resultado de la combinación de la eficacia de una lámpara incandescente con la de una lámpara de descarga. Estas lámparas ofrecen una buena reproducción del color con un rendimiento en color de 60 y una temperatura de color de 3600 °K.

La duración viene limitada por el tiempo de vida del filamento que es la principal causa de fallo. Respecto a la depreciación del flujo hay que considerar dos causas. Por un lado tenemos el ennegrecimiento de la ampolla por culpa del wolframio evaporado y por otro la pérdida de eficacia de los polvos fosforescentes. En general, la vida media se sitúa en torno a las 6000 horas.

3.4.2.1.4 Lámparas con halogenuros metálicos [17]

Si añadimos en el tubo de descarga yoduros metálicos (sodio, talio, indio...) se consigue mejorar considerablemente la capacidad de reproducir el color de la lámpara de vapor de mercurio. Cada una de estas sustancias aporta nuevas líneas al espectro (por ejemplo amarillo el sodio, verde el talio y rojo y azul el indio).

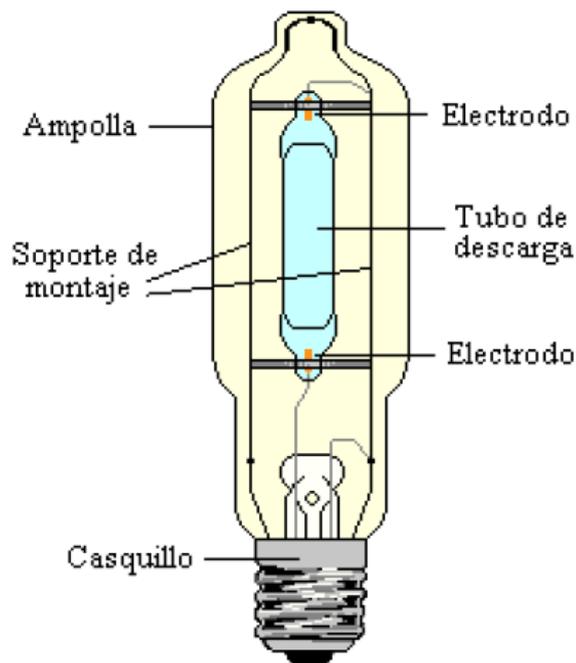


Figura 3.6 Lámpara con halogenuros metálicos [17]

Los resultados de estas aportaciones son una temperatura de color de 3000 a 6000 °K dependiendo de los yoduros añadidos y un rendimiento del color de entre 65 y 85. La eficiencia de estas lámparas ronda entre los 60 y 96 lm/W y su vida media es de unas 10000 horas. Tienen un periodo de encendido de unos diez minutos, que es el tiempo necesario hasta que se estabiliza la descarga. Para su funcionamiento es necesario un dispositivo especial de encendido, puesto que las tensiones de arranque son muy elevadas (1500-5000) V.

3.4.3 Lámparas de vapor de sodio [17]

Las lámparas de vapor de sodio al contrario de las de vapor de mercurio, efectúan la luz a partir de la excitación de los átomos de sodio contenidas en un tubo de descarga, el proceso de funcionamiento es similar al de las lámparas de vapor de mercurio.

Las lámparas de sodio son de mayor rendimiento lumínico cuyo rango esta en 175 lm/w. y hay dos tipos:

3.4.3.1 Lámparas de vapor de sodio de baja presión [17]

En estas lámparas el tubo de descarga tiene forma de U para disminuir las pérdidas por calor y reducir el tamaño de la lámpara, se fabrican en una gama de potencias que va desde los 35 a 180 vatios.

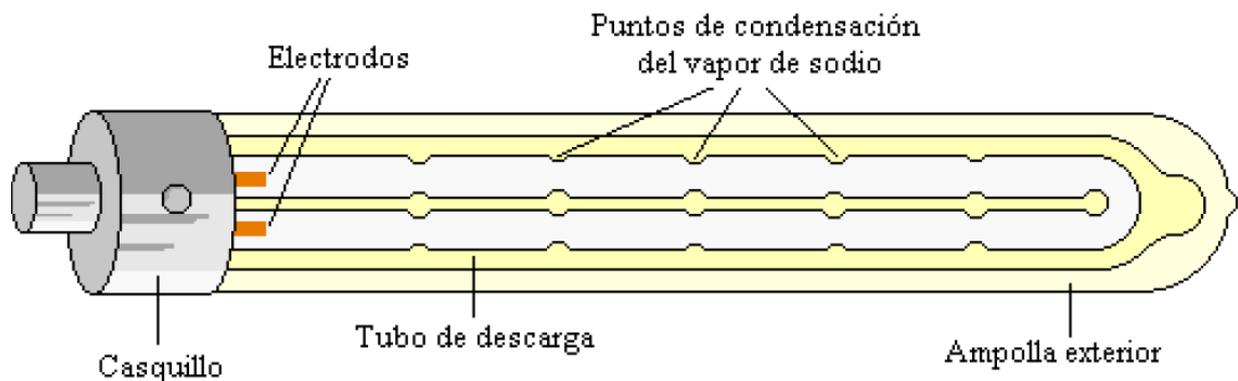


Figura 3.7 Lámpara de vapor de sodio de baja presión [18]

Está elaborado de materiales muy resistentes, pues el sodio es muy corrosivo y se le practican unas pequeñas hendiduras para facilitar la concentración del sodio y que se vaporice a la temperatura menor posible. El tubo está encerrado en una ampolla en la que se ha practicado el vacío con objeto de aumentar el aislamiento térmico. De esta manera se ayuda a mantener la elevada temperatura de funcionamiento necesaria en la pared del tubo (270 °C).

La descarga eléctrica en un tubo con vapor de sodio a baja presión produce una radiación monocromática característica formada por dos rayas en el espectro (589 nm y 589.6 nm) muy próximas entre sí.

El tiempo de arranque de una lámpara de este tipo es de unos diez minutos. Es el tiempo necesario desde que se inicia la descarga en el tubo en una mezcla de gases inertes (neón y argón) hasta que se vaporiza todo el sodio y comienza a emitir luz. Físicamente esto se corresponde a pasar de una luz roja (propia del neón) a la amarilla característica del sodio. Se procede así para reducir la tensión de encendido.

La vida media de estas lámparas es de unas 15000 horas y la depreciación del flujo luminoso que tienen a lo largo de su vida es muy baja por lo que su vida útil está entre 6000 y 8000 horas, junto a su eficiencia y las ventajas visuales que ofrece la hacen muy adecuada para el alumbrado público.

La eficacia de estas lámparas está entre 160 y 180 lm/W, permite una buena comodidad y agudeza visual además de una buena percepción de contrastes. Su mono cromatismo hace que la reproducción de colores y el rendimiento en color sean muy malos haciendo imposible distinguir los colores de los objetos.

La utilización de este tipo de lámparas es muy limitada debido a la luz monocromática que producen, por esta razón su aplicación se da en aquellos casos donde se necesitan disponer de gran cantidad de luz sin tener en cuenta su calidad como en autopistas, carreteras rápidas, espacios industriales exteriores, estacionamiento puertos, etc.

3.4.3.2 Lámparas de vapor de sodio de alta presión [17]

Las lámparas de vapor de sodio a alta presión tienen una distribución espectral que abarca casi todo el espectro visible proporcionando una luz blanca dorada mucho más agradable que la proporcionada por las lámparas de baja presión.

Tienen un rendimiento en color ($C_{\text{color}} = 2100 \text{ }^\circ\text{K}$) y capacidad para reproducir los colores mucho mejores que la de las lámparas a baja presión ($\text{IRC} = 25$, aunque hay modelos de 65 y 80). No obstante, esto se consigue a base de sacrificar eficacia; aunque su valor que ronda los 130 lm/W sigue siendo un valor alto comparado con los de otros tipos de lámparas.

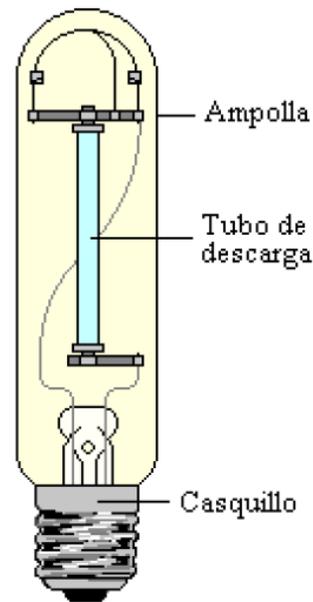


Figura 3.8 Lámpara de vapor de sodio de alta presión [18]

La vida media de este tipo de lámparas ronda las 20000 horas y su vida útil entre 8000 y 12000 horas. Entre las causas que limitan la duración de la lámpara, además de mencionar la depreciación del flujo tenemos que hablar del fallo por fugas en el tubo de descarga y del incremento progresivo de la tensión de encendido necesaria hasta niveles que impiden su correcto funcionamiento.

Las condiciones de funcionamiento son muy exigentes debido a las altas temperaturas (1000 °C), la presión y las agresiones químicas producidas por el sodio que debe soportar el tubo de descarga. En su interior hay una mezcla de sodio, vapor de mercurio que actúa como amortiguador de la descarga y xenón que sirve para facilitar el arranque y reducir las pérdidas térmicas. El tubo está rodeado por una ampolla en la que se ha hecho el vacío. La tensión de encendido de estas lámparas es muy elevada y su tiempo de arranque es muy breve.

El presente proyecto se está desarrollando tomando en cuenta los criterios de iluminación de una vía pública para el cual se va seleccionar una lámpara de sodio de alta presión ya que las prestaciones son mayores con respecto a las demás lámparas, más adelante se especificará los datos técnicos de la lámpara seleccionada.

3.5 Selección de la luminaria

Las luminarias son aparatos que distribuyen, filtran o transforman la luz emitida por las lámparas, también sirven para contener los accesorios de las fuentes luminosas, protegerlas contra la intemperie y fundamentalmente dirigir sobre la calzada con el mínimo de pérdidas y en la dirección deseada el flujo luminoso emitido por la fuente, reducir en ciertos casos el deslumbramiento debido a las fuentes. [24]

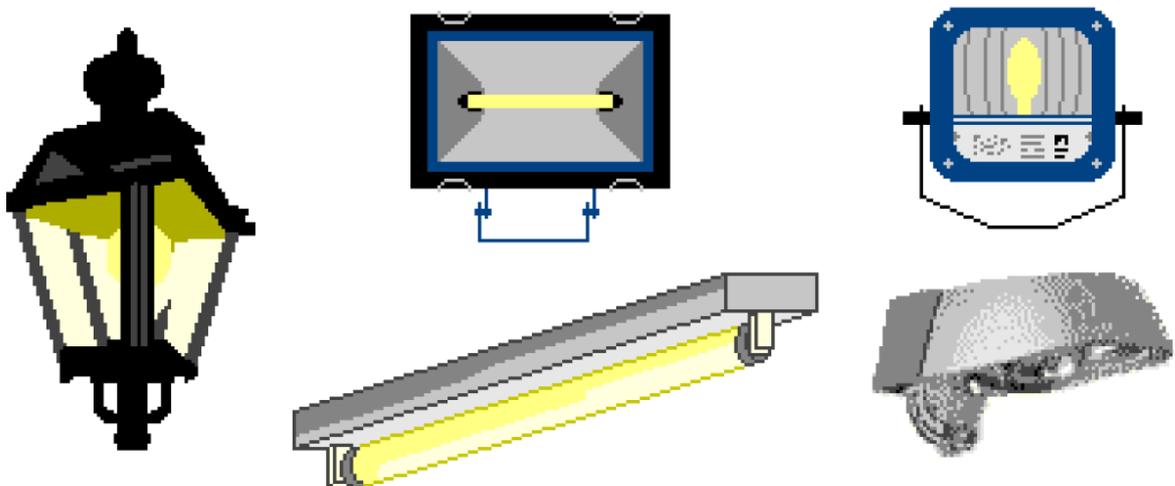


Figura 3.9 Ejemplos de luminarias [24]

Otra función de las luminarias es aislar térmicamente la fuente del ambiente exterior, con el fin de alcanzar la temperatura de funcionamiento que corresponde al máximo de eficiencia luminosa, las luminarias pueden ser de tipo cerrado o abierto.

Las luminarias cerradas presentan la ventaja de proteger más eficazmente el sistema óptico y las fuentes contra el polvo y la acción de los agentes atmosféricos.

3.5.1 Luminarias para alumbrado público

Las luminarias con respecto a la simetría del flujo emitido se pueden clasificar de la siguiente forma.

- **Luminarias de distribución simétricas**

Son aquellas que reparten simétricamente el flujo luminoso con respecto al eje de simetría, la distribución espacial de las intensidades luminosas puede representarse con una sola curva fotométrica.

- **Luminarias de distribución asimétricas**

Son aquellas luminarias que reparten el flujo luminoso de una forma no simétrica respecto a un eje, la distribución espacial de las intensidades luminosas solo puede expresarse por medio de un sólido fotométrico.

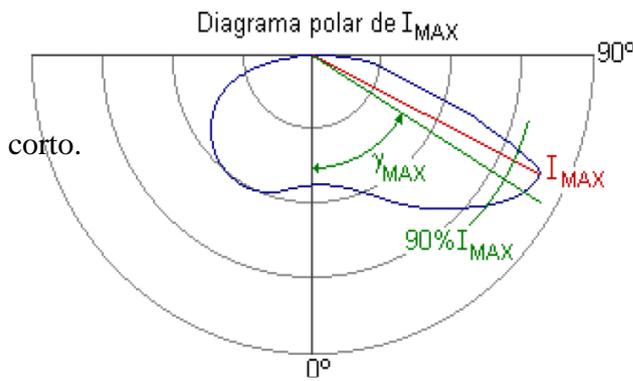
Según la distribución de la luz se clasifican en:

Esta clasificación de las luminarias se realiza basándose en el diagrama Isocandela, de coordenadas rectangulares, en el cual se sobreponen una serie de líneas longitudinal de calzada (LLC) y de líneas transversales de calzadas (LTC) en múltiplos de la altura de montaje (AM) con esta información permite tener una idea general de la luminaria y su distribución.

- **Clasificación de las luminarias según la CIE [25]**

Las luminarias utilizadas en alumbrado público se clasificaban de acuerdo a la distribución de la intensidad luminosa en cut-off, semicut-off y noncut-off, dicha clasificación obedecía a las intensidades luminosas comprendidas entre los ángulos de 80° y 90°. Hoy en día la nueva clasificación se basa en tres características fundamentales de las luminarias:

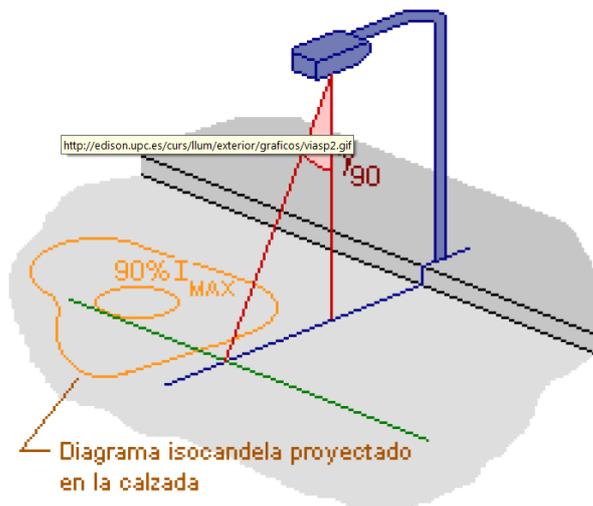
Alcance.- Es la distancia, definida mediante el ángulo de elevación del centro del haz $m_{\text{áx.}}$, en que la luminaria es capaz de iluminar la calzada en dirección longitudinal. Este ángulo se calcula como el valor medio entre los dos ángulos correspondientes al 90% de $I_{\text{MÁX}}$ que corresponden al plano donde la luminaria presenta el máximo de la intensidad luminosa.



- $\gamma_{\text{máx}} < 60^\circ$ alcance
- $70^\circ \geq \gamma_{\text{máx}} \geq 60^\circ$ alcance medio.
- $\gamma_{\text{máx}} > 70^\circ$ alcance largo.

Figura 3.10 Diagrama polar I_{max} [26]

Dispersión.- Es la distancia, determinada por el ángulo, en que es capaz de iluminar la luminaria en dirección transversal a la calzada. Se define como la recta tangente a la curva isocandela del 90% de $I_{\text{máx}}$ proyectada sobre la calzada, que es paralela al eje de esta y se encuentra más alejada de la luminaria.



- $\gamma_{90} < 45^\circ$ dispersión estrecha.
- $45^\circ \leq \gamma_{90} \leq 55^\circ$ dispersión media.
- $\gamma_{90} > 55^\circ$ dispersión ancha.

Figura 3.11 Dispersión transversal de una luminaria [26]

El alcance y la dispersión de una luminaria, se puede calcular gráficamente a partir del diagrama isocandela, dado por el fabricante u obtenido a partir de pruebas y ensayos.

Control del deslumbramiento.- Determina la capacidad que posee una luminaria para controlar el deslumbramiento; se basa en el índice específico de la luminaria (SLI), y los grados de control son:

$SLI < 2$ Control limitado

$SLI 2 \leq SLI \leq 4$ Control moderado

$SLI > 4$ Control intenso

El SLI se calcula con la ecuación:

$$SLI = 13.84 - 4.31 \log(I_{80}) + 1.3 \log(I_{80}/I_{88})^{0.5} - 0.08 \log(I_{80}/I_{88}) + 1.29 \log(F) + C$$

Donde:

- I_{80} : Intensidad luminosa (cd) en ángulo de elevación de 80° y en un plano paralelo al eje de la calzada.
- I_{80}/I_{88} : Relación de intensidades luminosas para γ de 80° y 88° en el plano $C = 0^\circ$.
- F: área emisora de luz de las luminarias (m^2), proyectada en la dirección de elevación a 76° .
- C: Factor de corrección del color.

Según los catálogos de luminarias **Corporación Obramat** se selecciona una luminaria **APM 200I** con las especificaciones técnicas siguientes.

Datos Técnicos:

Clase: I (aterrado)

Factor de protección óptica: IP-65

Factor de protección porta equipos: IP-52

Para la luminaria seleccionada se tomara la siguiente configuración:

Ángulo de alcance: 70°

Angulo de dispersión: 55°

El factor SLI es despreciable ya que la iluminación en estudio no es de aplicación para vía de circulación automovilística.

3.5.1.1 Luminarias led

En los últimos años se ha venido invadiendo la nueva tecnología en iluminación mediante luminarias LED (Diodo Emisor de Luz).

En un futuro no muy lejano, en el ámbito de la iluminación, es previsible que la utilización de los LED se incremente, ya que sus aplicaciones son superiores a las lámparas incandescentes y al tubo fluorescente, desde diversos puntos de vista. La iluminación con LED tiene muchas ventajas. Es importante también señalar que diversas pruebas realizadas por importantes laboratorios internacionales y organismos gubernamentales han concluido que el ahorro energético varía entre un 60% y 80% en relación con la iluminación tradicional. Esto es una de las grandes ventajas que los LED ofrecen para el alumbrado público.

3.5.1.2 Ventajas desde el punto de vista de eficiencia energética [27]

- Eficiencia y ahorro energético
- Mejora de la competitividad, modernización en los sistemas de gestión
- Reducción de la emisión de gases de efecto invernadero
- Reducción de los costos ocasionados por el consumo eléctrico
- Prevención y limitación de riesgos
- Protección a personas, flora, fauna, bienes y ambiente en general

Desventajas: El mayor inconveniente que tiene el LED sin duda es su precio, pero si evaluamos sus múltiples e inmejorables condiciones de funcionamiento, y sobre todo su larga vida en comparación con los demás sistemas de iluminación, estamos en condiciones de afirmar que es la inversión más sensata, eficaz y rentable que podemos hacer.

3.5.1.3 Luminarias LED de alta intensidad para exteriores [27]

Con la nueva tecnología de lámparas con LED en el mercado, se ha creado la nueva iluminación a base de LED para exteriores, estas lámparas son utilizadas para iluminar zonas exteriores en las avenidas y calles, plantas, fábricas y estacionamientos grandes, ahorrando más de 50% y hasta 80% de energía. Con una vida útil de 50,000 horas lo cual es todavía más larga que las antiguas lámparas y las ahorradoras de energía.

También garantiza los más altos estándares de calidad a través de todas las etapas de fabricación, todos los componentes y subconjuntos son revisados y probados, con la experiencia en ingeniería de soluciones de ahorro de energía desde 1969. ISO9001, ISO14001 y certificación TS16949, y operan de acuerdo a la más alta calidad, normas de seguridad y protección al ambiente.

Las luminarias más comunes que hay en el mercado y que reúnen las mismas características son:

- Luminaria LED LU2
- Luminaria LED LU4
- Luminaria LED LU6

3.5.1.4 Características de las luminarias LED [27]

- Revolucionario sistema fotométrico
- Sin brillo molesto
- Sin contaminación visual
- Encienden de inmediato
- Resistentes a impactos, a prueba de shock, sin rayos ultravioleta e infrarrojos
- Alto índice de color
- Larga vida, hasta 50,000 horas
- Protegen el ambiente
- Trabaja con bajo voltaje y baja temperatura
- Alta eficiencia de luminosidad

TABLA 3.5 PROPIEDADES DE ELÉCTICAS DE LAMPARAS [27]

Propiedades técnicas de lámparas		
	Sodio de alta presión	LED LU2
Potencia (Watt)	100	66
Tensión de la lámpara (V _{AC})	100	85 - 264
Flujo luminoso (lm)	10500	4200
Eficiencia (lm/W)	105	80
Temperatura de color (° K)	2000	5000 - 7000
Vida útil (Horas)	32000	50000

3.5.

2

Distribución y altura óptima de las luminarias

Al diseñar el sistema de iluminación es necesario conocer las disposiciones que se tendrán en el futuro por ejemplo alguna ampliación de un aparcamiento o sitio de recreación y si existe alguna restricción para la colocación de los postes exclusivos de alumbrado público en la malla tanto principal como complementaria.

La localización de las luminarias está relacionada con su patrón de distribución, con el ancho de la zona (W), con los requerimientos lumínicos de la zona, con la altura de montaje (H) de las luminarias, (en donde se deberán cumplir las normas de distancias mínimas de seguridad establecidas en el organismo correspondiente).

Disposición unilateral [28]

Es una disposición donde todas las luminarias se instalan a un solo lado de la vía. El diseñador debe utilizar la luminaria más apropiada que cumpla con los requisitos fotométricos exigidos para las alturas de montaje, inter distancia y menor potencia eléctrica requerida.

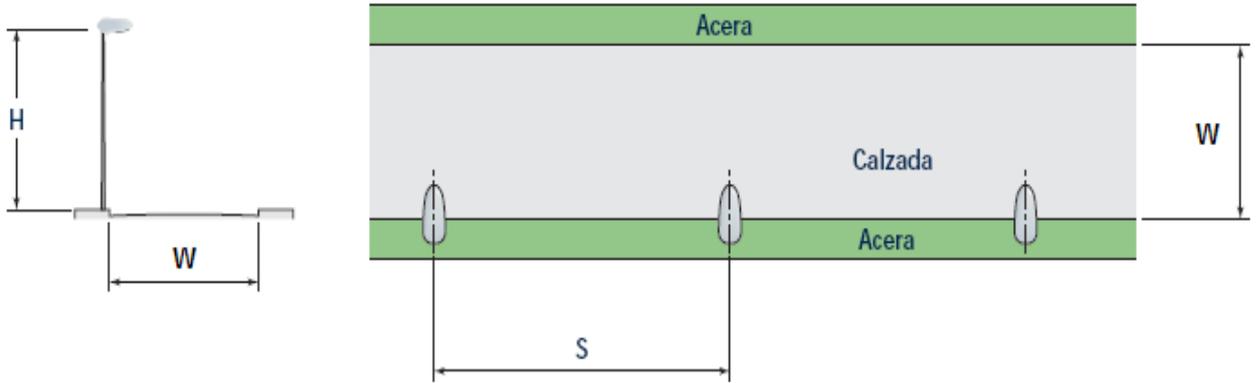


Figura 3.12 Arreglo unilateral de luminarias [28]

Diseños por encima de 20° de elevación no son recomendables porque pueden terminar iluminando las fachadas del frente y generando polución luminosa).

Disposición central doble [28]

Donde los carriles de circulación en una dirección y otra se encuentran separados por un pequeño separador que no debe ser menor de 1,5 m de ancho. Se logra una buena economía en el proyecto si los postes comparten en el separador central a manera de dos disposiciones unilaterales. Esta manera de agrupar las luminarias se denomina central sencilla.

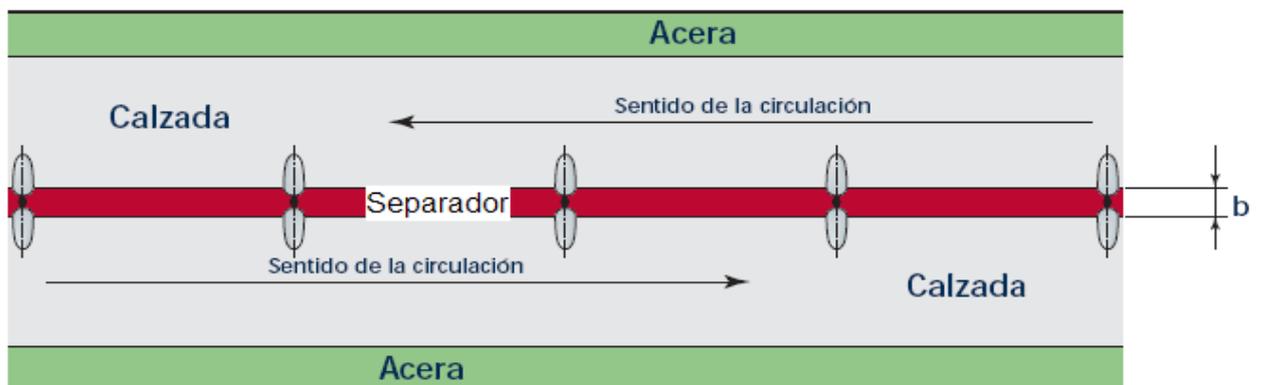


Figura 3.13 Arreglo de luminarias central doble [28]

Bilateral alternada [28]

Cuando la vía presenta un ancho W superior a la altura de montaje H de las luminarias ($1.0 < (W/H) < 1,50$), se recomienda utilizar luminarias clasificadas como Tipo II de la IESNA ó de dispersión media en el modelo de la CIE. Es claro que la anterior frase no obliga al diseñador a utilizar luminarias Tipo II de manera exclusiva, pues la presente norma es del tipo de resultados y no de materiales a utilizar en un diseño.

También es conveniente utilizar la disposición bilateral alternada en zonas comerciales o de alta afluencia de personas en la noche, para iluminar las aceras y las fachadas de las edificaciones frente a la calzada y crear de esta manera, un ambiente luminoso agradable.

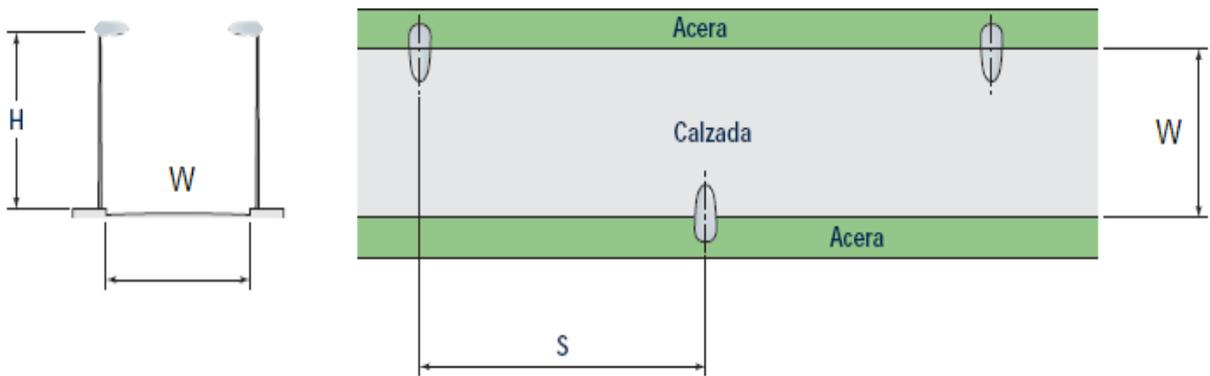


Figura 3.14 Arreglo de luminarias bilateral doble [28]

Disposición bilateral opuesta sin separador [28]

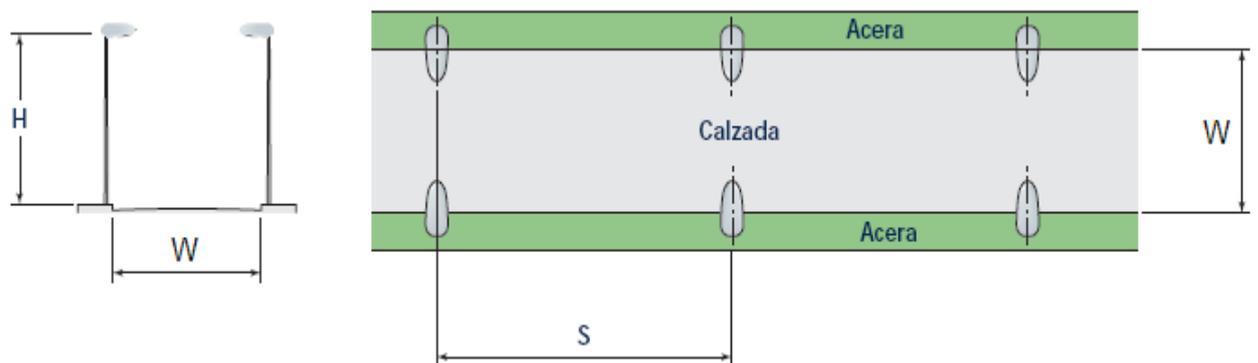


Figura 3.15 Arreglo de luminarias bilateral opuesta sin separador [28]

Cuando la vía presenta un ancho W muy superior a la altura de montaje H de las luminarias ($1,25 < (W/H) < 1,75$), se recomienda utilizar luminarias clasificadas como Tipo III de la IESNA ó de dispersión ancha en el modelo de la CIE en disposición bilateral opuesta, aunque se puede utilizar cualquier tipo de clasificación siempre y cuando se cumpla con los requisitos fotométricos exigidos y el diseño sea el más económico. [28]

En este caso, la iluminación consta de dos filas de luminarias: una a cada lado de la vía y cada luminaria se encuentra enfrentada con su correspondiente del lado contrario. Por otra parte, el solo uso de la disposición no garantiza el resultado. El diseño completo contempla una solución integral a la iluminación de la vía propuesta incluidos los alrededores inmediatos. Esta disposición sobre vías principales, es comúnmente usada si se requiere solamente para iluminación doble propósito: la vehicular y la peatonal.

Para determinar el tipo de disposición de las luminarias se procede de acuerdo a la siguiente tabla:

TABLA 3.6 ARREGLO DE LUMINARIAS [18]

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

En la parte frontal del modular de Ecoturismo ya existe un sistema de alumbrado exterior que ilumina la calle que atraviesa por la parte delantera del modular este abastece de iluminación la calle y el parqueadero de carros que hay en aquel lugar, por lo tanto el estudio o diseño de red de iluminación que va hacer para este bloque será solo el espacio que está en la parte exterior del edificio.

Al estudiar los distintos tipos de disposiciones de las luminarias y tomando en cuenta que en el área a ser iluminada no se puede optar por una distribución bilateral ni la tres bolillo, la disposición de las luminarias será de forma unilateral.

Aparte de estas consideraciones, la altura de montaje se relaciona con las facilidades para el mantenimiento, el costo de los apoyos y el flujo de las lámparas.

TABLA 3.7 ALTURA Y FLUJO DE LÁMPARAS [18]

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

La inter distancia de localización de los postes de alumbrado (S) será la que resulte del estudio fotométrico de iluminación de la vía y primara sobre la distancia de ubicación de los elementos del mobiliario.

Las inter distancias sólo se deben disminuir debido a obstáculos insalvables, como por ejemplo sumideros de alcantarillas, rampas de acceso a garajes existentes, interferencia con redes de servicios públicos existentes y que su modificación resulte demasiado onerosa comparada con el sobrecosto que representa el incremento del servicio de alumbrado público, etc.

Se debe buscar obtener inter distancias más elevadas mediante la utilización secuencial de las siguientes alternativas:

- a. Escoger la luminaria más apropiada
- b. Calibrar el reglaje de la luminaria para aumentar su dispersión
- c. Aumentar la inclinación de la luminaria (pasando de 0° hasta 20°)
- d. Utilizar brazos con mayor longitud y por tanto de mayor alcance
- e. Aumentar la longitud del brazo para que el avance de la luminaria sobre la calzada sea mayor

Método del coeficiente de utilización [28]

En el diseño de alumbrado público, uno de los documentos fotométricos que identifica una luminaria, es la curva del coeficiente de utilización K_t , el cual sirve para calcular, a partir del conocimiento de la geometría de la vía considerada y la disposición de las luminarias, la iluminancia media sobre la calzada.

En el proceso de diseño y a partir de una iluminancia media dada, puede usarse para calcular la inter distancia. Otra forma de aplicar esta curva, es calcular el flujo luminoso necesario para obtener una iluminancia dada, a partir de una inter distancia fija.

La fórmula general del cálculo es:

$$E_{prom} = \frac{\phi \cdot K_t \cdot Fm}{S \cdot W} \quad (3.2)$$

Donde:

E_{prom} Iluminancia promedio sobre la calzada (lx)

ϕ Flujo mantenido en la bombilla (lm)

K_t Coeficiente de utilización del sistema total calculado (%)

S Inter distancias entre luminarias (m)

W Ancho de vía (m)

El coeficiente de utilización debe ser obtenido de las curvas de utilización de la luminaria especificada, equipada con una determinada bombilla, en una posición definida y con un ángulo de inclinación respecto a la horizontal. Para luminarias de alumbrado público de distribución simétrica se definen dos curvas k , la primera k_1 para el porcentaje del flujo hacia adelante (lado de la calzada) y la segunda k_2 para el flujo hacia atrás (lado del andén o antejardín), como indica la figura.

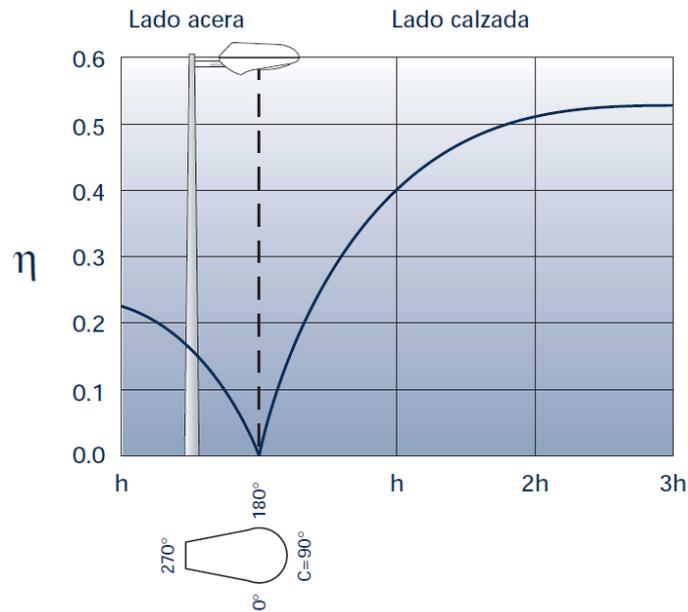


Figura 3.16 Factor de utilización como función de H [29]

Cálculo por el método del factor de utilización

Para ambos tramos son similares por lo tanto bastara realizar un solo calculo, el resultado que se obtenga se usara para los dos.

Se va usar este método debido a que por medio de él nos permite calcular con bastante precisión la separación de poste a poste.

1. Primero se determina el nivel iluminancia media E_m . Según las recomendaciones del CIE se toma el nivel de iluminancia de 20 lux y 1.4 cd/m^2 de luminancia media.

$$E_m = 20 \text{ lux}$$

$$L_m = 1.4 \text{ cd}/\text{m}^2$$

2. El segundo paso es selección de la lámpara para el cual se elije una lámpara de vapor de sodio de alta presión por ser de mayor vida útil y tener una alta eficiencia respecto a las demás lámparas.

Para este caso se elige una lámpara marca **Philips SON-T PLUS** 100 Watts con características siguientes:

Tensión	100 V
Corriente	1.2 A
Flujo luminoso	10500 lm
Eficiencia	105 lm/W
Vida útil	32000 hrs

Dependiendo del flujo luminoso de la lámpara existen recomendaciones de altura del poste; para un flujo mayor a 10000 pero menor o igual a 20000 lm la altura comprende entre 8 y menor a 10 metros, en este caso la altura donde se ubique la lámpara será de 9 metros.

$$H = 9 \text{ m}$$

3. La disposición de las luminarias se elige según la relación altura vs anchura, por lo tanto.

$$\frac{\text{Anchura}(W)}{\text{Altura}(H)} \leq 1 \quad \text{Para una disposición unilateral} \quad (3.3)$$

La distancia de 12 m se reduce hasta los diez metro ya que desde el filo del bordillo se toma una distancia de 0.5 m y la distancia del brazo donde se monta la luminaria aproximadamente 1.5 m.

Entonces;

$$\frac{9}{9} = 1 \text{ Por lo tanto le corresponde una disposición unilateral}$$

4. El factor de mantenimiento **Fm** se elige dependiendo de las características de la zona analizando la contaminación, tráfico. Habitualmente este factor es muy difícil de evaluar pero se recomienda tomar un valor no superior a 0.8.

Para este cálculo se ha de tomar un Fm de 0.7

5. Cálculo de factor de utilización **Kt** normalmente viene representado en curvas que son proporcionados por los fabricantes, están en función de la anchura y altura.

Factor de utilización lado calzada

$$K_1 = \frac{W_1}{H} \quad (3.4)$$

Factor de utilización lado vereda

$$K_2 = \frac{W_2}{H} \quad (3.5)$$

Factor de utilización total

$$K_t = K_1 + K_2 \quad (3.6)$$

Datos:

$$W_1 = 10$$

$$H = 9$$

$$W_2 = 1.5$$

$$K_1 = 9/9$$

$$K_1 = 1$$

Al realizar la respectiva lectura en las curvas de factor de utilización se visualiza un valor de 36% aproximadamente.

$$K_2 = 1.5/9$$

$$K_2 = 0.167$$

Ahora para el otro lado se tiene 8%

Entonces el K_1 es igual a 44%

6. Finalmente se calcula la separación de las luminarias

$$E_m = \frac{K_t \cdot F_m \cdot \varphi_l}{S \cdot W} \quad (3.7)$$

$$S = \frac{K_t \cdot F_m \cdot \varphi_l}{E_m \cdot W}$$

$$S = \frac{0.44 * 0.7 * 10500}{20 * 9}$$

$$S = 17.967 \text{ metros}$$

$$S \approx 18 \text{ metros}$$

Tramo N° 1

Aquí se tiene una distancia de 90 metros para un arreglo unilateral con 18 metros de separación de poste a poste, el número de poste que se va a ocupar en esta distancia es de 5 postes.

Tramo N° 2

Aquí se tiene una distancia de 70 metros para un arreglo unilateral con 18 metros de separación de poste a poste, el número de poste que se va a ocupar en esta distancia es de 4 postes.

El número de postes totales es 9 y su configuración es de la siguiente forma

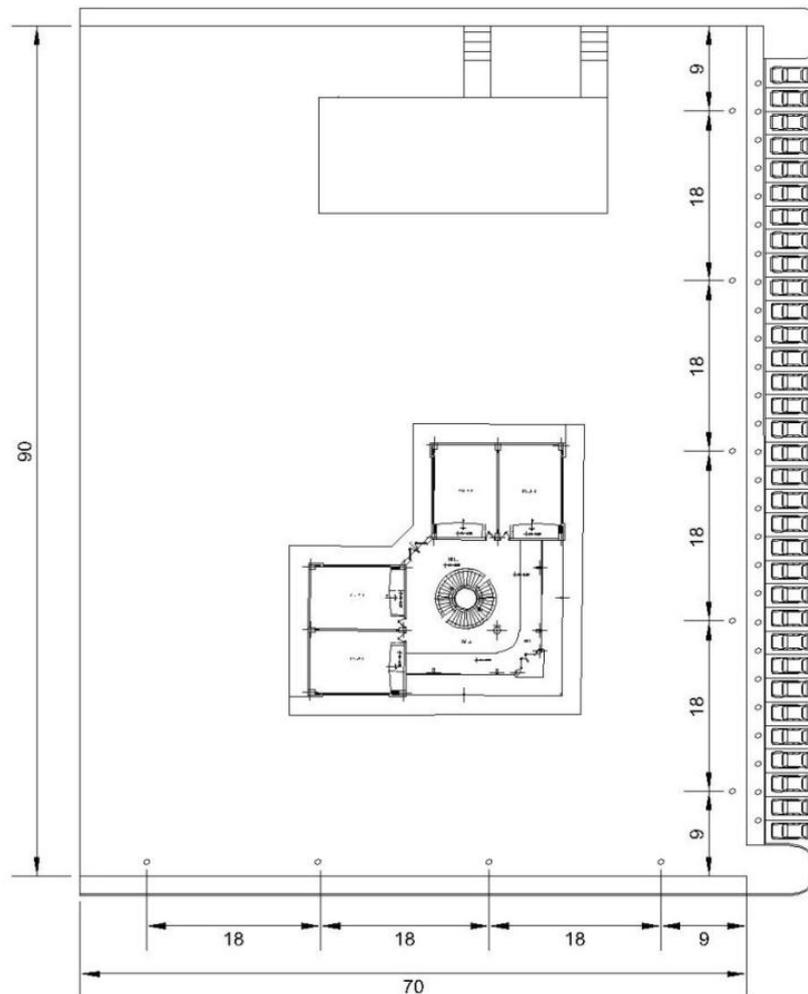


Figura 3.17 Interdistancias entre luminarias

3.6 Determinación de la potencia eléctrica a instalar

La potencia eléctrica por cada poste corresponde a la potencia consumida por la lámpara seleccionada en este caso cada poste consumirá una potencia de 100 Watts, a este se le multiplica el número de postes y se obtiene la potencia total instalada.

Por tanto la potencia total será 900 Watts

3.7 Análisis de los componentes del sistema fotovoltaico [30]

Sistema fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico consiste en la integración de varios componentes, cada uno de ellos cumpliendo con una o más funciones específicas, cuya única finalidad es transformar la energía recibida por el sol en energía eléctrica, acondicionando esta última a los requerimientos de una aplicación determinada.

Consta principalmente de los siguientes elementos:

- Arreglos de módulos de celdas solares
- Reguladores de carga
- Controlador de carga de batería
- Inversor de corriente DC/AC o un rectificador DC/AC
- Baterías de almacenamiento eléctrico y recinto para ellas

Arreglo de módulos de celdas solares.- También conocidos como “Paneles Fotovoltaicos”, están formados por la unión de celdas (células fotovoltaicas) que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos (electricidad solar). El parámetro estandarizado para clasificar su potencia se denomina potencia pico, y se corresponde con la potencia máxima que el módulo puede entregar bajo unas condiciones estandarizadas.

Regulador de carga.- Es la encargada de ajustar y regular la carga que sale directamente del modulo fotovoltaico, ya que está en función de la insolación solar y puede sobrepasar la capacidad de los acumuladores (baterías). La función principal del regulador de carga es proteger las baterías de las sobrecargas y sobre descargas en condiciones extremas de operación.

Acumuladores o baterías.- Son las que almacenan la energía producida por el generador y permite disponer de corriente eléctrica fuera de las horas de luz o días nublados. Estos acumuladores son especiales ya que son sometidos a continuos ciclos de carga y descarga.

Inversor o convertidor.- que transforma la corriente continua de 12 ó 24 V almacenada en el acumulador, en corriente alterna de 120 o 230 V.

Una instalación solar fotovoltaica sin inversor, utiliza una tensión de 12Vcc. Una instalación solar fotovoltaica con inversor, utiliza una tensión a 120 o 220 Vca.

Una vez almacenada la energía eléctrica en el acumulador hay dos opciones: sacar una línea directamente de éste para la instalación y utilizar lámparas y elementos de consumo de 12 o 24 Vcc o bien transformar la corriente continua en alterna de 220 V a través de un inversor.



Figura 3.18 Una instalación solar fotovoltaica con inversor, utilización a 230Vca [30]

3.7.1 Panel solar o generador solar

Se compone de uno o más módulos fotovoltaicos interconectados para conformar una unidad generadora de corriente continua. Los módulos FV deberán, preferiblemente estar certificados de acuerdo con la norma internacional *IEC-61215*, o con la norma nacional utilizada en el país de interés. Los fallos que se presentan generalmente en sistemas FV no se asocian al generador, sino a los otros componentes del sistema baterías, regulador, etc. Por lo que se considera que este es uno de los componentes de más alta fiabilidad.

En algunos módulos, los fabricantes incluyen diodos de paso para protegerlos contra el fenómeno de “punto caliente”. La probabilidad de que un módulo FV sea dañado por este fenómeno es despreciable en sistemas CC de menos de 24V, por lo que el uso de tales diodos es irrelevante en esos casos.

Cuando se hace referencia a una celda fotovoltaica se asume que ésta usa al selenio como material semiconductor, dado que el selenio es el material de mayor uso en el mercado actual. El máximo voltaje de salida de estas celdas es de alrededor de 0,5V.

La superficie activa de las celdas está diseñada para sostener una corriente de alrededor de 3,5A. Como el mínimo voltaje usado en los sistemas fotovoltaicos es de 12 V nominal, para alcanzar este valor se deben conectar varias celdas.

Un panel fotovoltaico está constituido por la unión de células solares conectadas eléctricamente entre sí en serie y paralelo hasta alcanzar el voltaje deseado para su utilización. Este conjunto de células está envuelto por unos elementos que le confieren protección frente a los agentes externos y rigidez para acoplarse a las estructuras que los soportan.

Se componen de: [31]

- Encapsulante
- Cubierta exterior
- Cubierta posterior
- Marco de metal
- Caja de terminales
- Diodo de protección

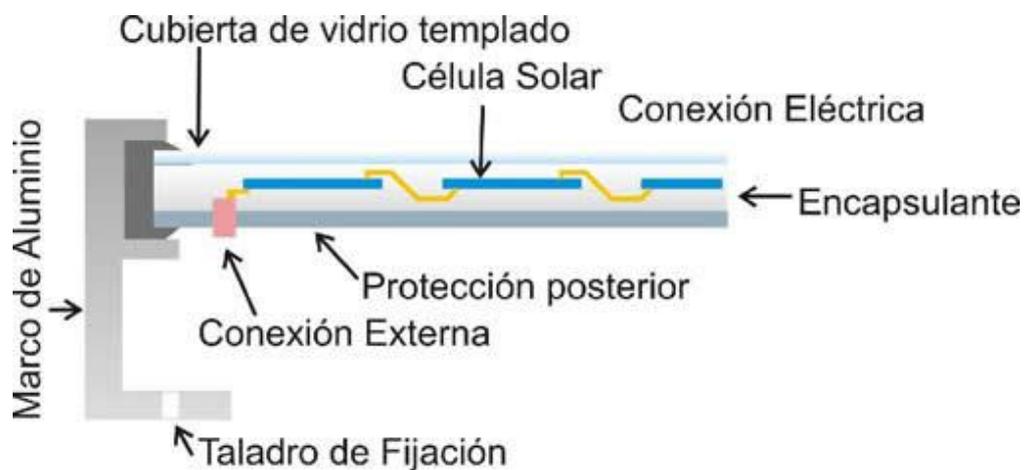


Figura 3.19 Corte transversal de un panel fotovoltaico [31]

- **Encapsulante:** Constituido por un material que debe presentar una transmisión a la radiación muy elevado y una degradabilidad baja a la acción de los rayos solares.
- **Cubierta exterior de vidrio templado:** Que además de facilitar al máximo la transmisión luminosa, debe resistir las condiciones climatológicas más adversas y soportar cambios bruscos de temperatura.
- **Cubierta posterior:** Constituida normalmente por varias capas opacas que reflejan la luz que ha pasado entre los intersticios de las células, haciendo que vuelvan a incidir otra vez sobre éstas.
- **Marco de metal:** Normalmente de aluminio, que asegura rigidez y estanqueidad al conjunto, y que lleva los elementos necesarios (generalmente taladros) para el montaje del panel sobre la estructura soporte.
- **Caja de terminales:** Incorpora los bornes para la conexión del módulo.
- **Diodo de protección:** Impiden daños por sombras parciales en la superficie del panel.

Voltaje de salida.- Depende del número de celdas en un panel, y por lo tanto su voltaje de salida, depende de la estructura cristalina del semiconductor usado. El fabricante, tiene en cuenta este factor, así como el comportamiento anticipado para el caso más desfavorable, se debe decidir en el número mínimo que garantiza la carga efectiva del banco de baterías.

Forma geométrica.- Cuando la forma geométrica de las celdas es un cuadrado, la superficie del panel será la mínima para un número dado de celdas, ya que el espacio entre ellas es prácticamente nulo. Esto permite la realización de un panel de menor tamaño, lo que abarata algo el costo del mismo y el de su transporte. Un panel de menor tamaño minimiza la superficie requerida para satisfacer la carga del sistema, reduciendo la superficie expuesta al viento. Los paneles modernos tienen celdas cuadradas (o con esquinas redondeadas), los más antiguos tienen celdas circulares.

Ensamblado mecánico.- Los detalles del ensamblado mecánico de un panel varían con cada fabricante. A pesar de ello existen puntos comunes para todas las realizaciones. Para proteger

las celdas, éstas son firmemente adheridas a una superficie de sostén. Pasando a formar una estructura “sandwich”, con dos capas plásticas de protección, una en la parte superior (translúcida y con protección a los rayos ultra-violetas) y otra en la parte inferior. El frente del panel (zona expuesta a la luz solar), tiene un vidrio templado (resistente al impacto) que protege a las celdas de los agentes meteorológicos (lluvia, granizo, nieve, polvo) y los golpes. El vidrio usado tiene un bajo contenido de plomo, para no reducir la transmitividad de la luz a través del mismo.

La parte posterior tiene una capa dieléctrica (aisladora) y una cubierta de protección. Un marco de aluminio sirve para dar rigidez mecánica al conjunto, facilitando a su vez el montaje del panel al soporte. El marco exterior es de aluminio para evitar su deterioro por oxidación.

Existen tres típicos clases de paneles fotovoltaicos

Paneles de baja potencia y voltaje.- Son confeccionados conectando entre 3 y 12 segmentos pequeños de silicio amorfo fotovoltaico con un área total de algunos centímetros cuadrados para obtener voltajes entre 1.5 y 6 V y potencias de algunos mili vatios. Aunque cada uno de estos paneles es muy pequeño, la producción total es grande. Se utilizan principalmente en relojes, calculadoras, cámaras fotográficas y dispositivos para detectar la intensidad de luz, tales como luces que se encienden automáticamente al caer la noche.

Paneles pequeños de 1 - 10 vatios y 3 - 12 V.- Tienen áreas de 100 cm² a 1000 cm² son hechos ya sea cortando en pedazos celdas mono o policristalinas de 100 cm² y ensamblándolas en serie, o usando paneles amorfos de silicio. Los usos principales son en radios, juguetes, bombeadores pequeños, cercas eléctricas y cargadores de baterías.

Paneles grandes de 10 a 60 vatios.- Habitualmente 6 o 12 voltios, con áreas de 1000cm² a 5000 cm² son generalmente construidos conectando de 10 a 36 celdas del mismo tamaño en serie. Se utilizan individualmente para bombeadores pequeños y energía de casas rodantes (luces y refrigeración) o en conjuntos para proporcionar energía a casas, comunicaciones, bombeadores grandes y fuentes de energía en área remotas.



Figura 3.20 Panel solar de baja potencia [31]

3.5.2 Regulador de carga

Este dispositivo está encargado de proteger a la batería frente a sobrecargas y sobre descargas profundas. El regulador de tensión controla constantemente el estado de carga de las baterías y regula la intensidad de carga de las mismas para alargar su vida útil. Actualmente existen dispositivos que permiten realizar esta función, pero son complejos y su elevado costo limita su uso en sistemas FV domésticos. Los reguladores que se emplean generalmente atienden el voltaje de la batería.



Figura 3.21 Regulador de carga RPF-30 [33]

En la mayoría de los casos, el precio del regulador representa solamente el 5% de la inversión inicial en el sistema FV. Pero el costo que puede representar a largo plazo es mucho mayor, debido a que las baterías pueden ser el componente de mayor coste a lo largo de la vida útil del sistema, y la duración de estas dependen directamente de la calidad del regulador de carga. Por esa razón deben emplearse reguladores de carga de buena calidad y con una vida útil superior a los 10 años.

También genera alarmas en función del estado de dicha carga. Los reguladores modernos utilizan microcontroladores para la correcta gestión de un sistema fotovoltaico. Su programación elaborada permite un control capaz de adaptarse a las distintas situaciones de forma automática, permitiendo la modificación manual de sus parámetros de funcionamiento para instalaciones especiales. Incluso los hay que memorizan datos que permiten conocer cuál ha sido la evolución de la instalación durante un tiempo determinado. Para ello, consideran los valores de tensión, temperatura, intensidad de carga y descarga, y capacidad del acumulador.

Existen dos tipos de reguladores de carga

- lineales
- conmutados

Reguladores de carga lineales.- Controlan la tensión de salida ajustando continuamente la caída de tensión en un transistor de potencia conectada en serie entre la entrada no regulada y la carga, puesto que el transistor debe conducir corriente continuamente, opera en su región activa o lineal. Aunque son más sencillos de utilizar que los reguladores de conmutación, tienden a ser ineficientes debido a la potencia consumida por el elemento en serie, su eficiencia es de 20%, y resultan eficaces para paneles de baja potencia < 5 Watts.

Reguladores de carga de Conmutación.- Utilizan un transistor de potencia como conmutador de alta frecuencia, de tal manera que la energía se transfiere desde la entrada a la carga en paquetes discretos. Los pulsos de intensidad se convierten después a una corriente continua mediante un filtro inductivo y capacitivo. Puesto que, cuando se opera como

conmutador, el transistor consume menos potencia que en su región lineal, estos reguladores son más eficientes que los lineales llegando hasta un 80%, además son más pequeños y ligeros.

3.5.3 Inversor de carga DC/AC

La función de los inversores en los sistemas fotovoltaicos es adecuar las características de la energía generada a las demandadas por las aplicaciones de la instalación. Un sistema de conmutación electrónico, llamado inversor, transforma la corriente continua de las baterías en corriente alterna.

Los inversores utilizan dispositivos de conmutación para transformar la corriente directa en corriente alterna, al mismo tiempo suben los voltajes de 12, 24 a 48 VDC.



Figura 3.22 (a) inversor de red marca SLK [34]

Las principales características que deben considerarse para el dimensionamiento del inversor son:

- La tensión de entrada
- Máxima potencia que puede manejar
- Margen de sobrecarga permisible
- Potencia, tensión y forma de la onda de la salida
- Frecuencia de trabajo y máximo error de frecuencia
- Eficiencia de transformación (generalmente cercana al 85%)

En sistemas fotovoltaicos aislados se emplean inversores de conmutación forzada o auto conmutados. Los primeros inversores, desaparecidos ya del mercado, generaban un voltaje de salida en AC en forma de onda cuadrada, tal como se muestra en la figura 3.22 (b) Este tipo de onda presenta un alto contenido de armónicos que generaban problemas de interferencia en equipos como radios y televisores, y resultaba imposible la alimentación de un ordenador u otros equipos electrónicos.

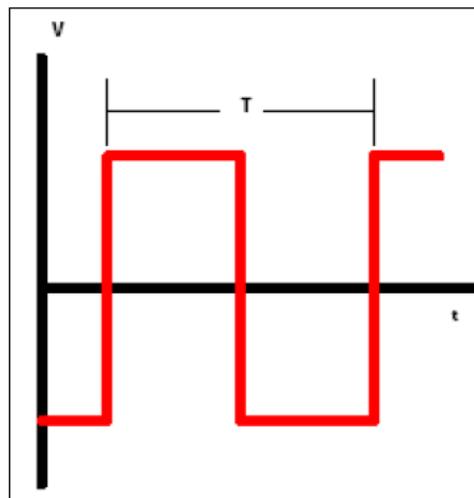


Figura 3.22 (b): Tensión de salida de un inversor de onda cuadrada [34]

Un primer avance en el diseño de inversores, permitió generar una onda de salida casi sinusoidal, conocida también como sinusoidal modificada. Esta de modulación por anchura de pulsos (PWM), onda consiste en una serie de escalones de voltaje que tratan de seguir las variaciones necesarias del voltaje CA de salida. La figura 2.7 muestra una onda de salida de este tipo.

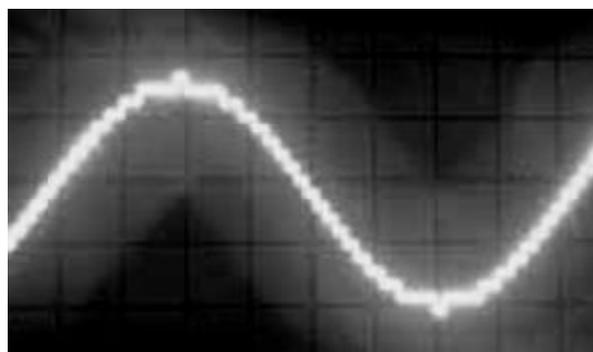


Figura 3.22 (c): Tensión de salida de un inversor de onda sinusoidal modificada [34]

Los inversores modernos generan una onda de salida sinusoidal pura o casi pura con bajo contenido de armónicos y con un mínimo error en la frecuencia, mediante un proceso llamado modulación por anchura de pulsos (PWM). Con los PWM pueden obtenerse rendimientos de hasta 90% inclusive con bajos niveles de carga.

En el mercado se encuentran también los llamados inversores/cargadores, un equipo que combina la función de inversor para transformar la energía de una fuente renovable de energía con un cargador de baterías que funciona a partir de una fuente de CA, ya sea un grupo electrógeno de respaldo o conexión a red.

3.5.4 Baterías o acumuladores

La función principal de las baterías en un sistema de generación fotovoltaico es la de acumular la energía que se produce durante las horas de luminosidad para poder ser utilizada en la noche o durante periodos prolongados de mal tiempo.

Otra importante función de las baterías es la de proveer una intensidad de corriente superior a la que el dispositivo fotovoltaico puede entregar. Tal es el caso de un motor, que en el momento del arranque puede demandar una corriente de 4 a 6 veces su corriente nominal durante unos pocos segundos.

3.5.4 Interacción entre módulos fotovoltaicos y baterías

Generalmente el banco de baterías y los paneles fotovoltaicos trabajan conjuntamente para alimentar las cargas. Durante la noche toda la energía demandada por la carga la provee el banco de baterías. En horas tempranas de la mañana los módulos comienzan a generar, pero si la corriente que entregan es menor que la que la carga exige, la batería deberá contribuir en el aporte.

A partir de una determinada hora de la mañana la energía generada por los módulos fotovoltaicos superada la energía promedio demandada. Los módulos no solo atenderán la demanda sino que además, todo exceso se almacenara en la batería que empezara a cargarse y a recuperarse de su descarga de la noche anterior. Finalmente durante la tarde, la corriente

generada decrece y cualquier diferencia con la demanda la entrega a la batería. En la noche, la generación es nula y todo el consumo lo afronta la batería.

3.5.5 Baterías utilizadas en sistemas fotovoltaicos

Las baterías usadas en sistemas fotovoltaicos son especiales ya que deben ser resistentes a la carga y descarga continua podemos decir que la unidad de construcción básica de una batería es la celda de 2 volts. También se puede hacer una clasificación de las baterías en base a su capacidad de almacenamiento, y a su ciclo de vida útil.

La capacidad de almacenamiento de energía de una batería depende de la velocidad de la descarga. La capacidad nominal que la caracteriza, corresponde a un tiempo de descarga de diez horas aproximadamente. En condiciones normales, el banco de baterías fotovoltaicas, trabajan conjuntamente para alimentar a las cargas, y lo hace durante las horas de la noche toda la energía demandada, por la carga a lo largo del día.



Figura 3.23 Batería de almacenamiento de energía solar [35]

- **Baterías de plomo - ácido de electrolito líquido.-** Las baterías de plomo - ácido se aplican ampliamente en los sistemas de generación fotovoltaicos. Dentro de la categoría plomo - ácido, las de plomo - antimonio, plomo - selenio y plomo - calcio son las más comunes. La unidad de construcción básica de una batería es la celda de 2 voltios.

Dentro de la celda, la tensión real de la batería depende de su estado de carga, si está cargando, descargando o en circuito abierto.

En general, la tensión de una celda varía entre 1,75 Voltios y 2,5 Voltios, siendo el promedio alrededor de 2 Voltios, tensión que se suele llamar nominal de la celda. La capacidad de almacenaje de energía de una batería depende de la velocidad de descarga. La capacidad nominal que la caracteriza corresponde a un tiempo de descarga de 10 horas. Cuanto mayor es el tiempo de descarga, mayor es la cantidad de energía que la batería entrega.

Un tiempo de descarga típico en sistemas fotovoltaicos es 100 hs. Dentro de las baterías de plomo - ácido, las denominadas estacionarias de bajo contenido de antimonio son una buena opción en sistemas fotovoltaicos, poseen unos 2500 ciclos de vida cuando la profundidad de descarga es de un 20 % (es decir que la batería estará con un 80 % de su carga) y unos 1200 ciclos. Las baterías estacionarias poseen además, una baja auto-descarga (3 % mensual aproximadamente contra un 20 % de una batería de plomo - ácido convencional) y un reducido mantenimiento. Dentro de estas características se encuadran también las baterías de plomo-calcio y plomo- selenio, que poseen una baja resistencia interna, valores despreciables de gasificación y una baja auto descarga.

3.6 Cálculo y dimensionamiento del sistema fotovoltaico

El tamaño del generador fotovoltaico debe asegurar que la energía producida durante el peor mes pueda, como mínimo, igualar a la demandada requerida por la carga. Por lo que para dimensionar tanto los módulos como las baterías de un sistema FV autónomo, es necesario conocer las cargas a conectar, la potencia nominal de cada elemento y las horas diarias de funcionamiento.

Según su funcionamiento con relación a una red eléctrica convencional existen dos tipos fundamentales de sistemas fotovoltaicos: de una parte están los denominados sistemas fotovoltaicos conectados o enganchados a la red (SFCR), que, como se puede deducir por su nombre, necesitan de la conexión a una red eléctrica para realizar su función generadora de electricidad.

Por otra parte están los sistemas fotovoltaicos autónomos (SFA), que al contrario de los anteriores, no necesitan de una conexión con una red eléctrica, y su funcionamiento es independiente, como es el caso del tema que se está desarrollando.

Ahora, es necesario conocer la radiación solar diaria (H), medida en $\text{kWh/m}^2/\text{día}$ para cada mes del año en función de la localización geográfica e inclinación de los paneles y en base a datos estadísticos históricos de la zona.

Un concepto importante necesario para realizar el dimensionamiento de la cantidad de paneles necesarios en la instalación es el número de horas pico solares, HPS , que se refiere al número de horas diarias de luz solar equivalentes referidas a una irradiancia constante $I=1 \text{ kWh/m}^2$ a la cual se mide siempre la potencia de los paneles.

Este es un método para estandarizar la curva diaria de irradiancia solar, tal como se muestra a continuación en la figura 3.26 el área del rectángulo, definida a partir de las horas pico solar, es igual al área bajo la curva horaria de irradiancia real.

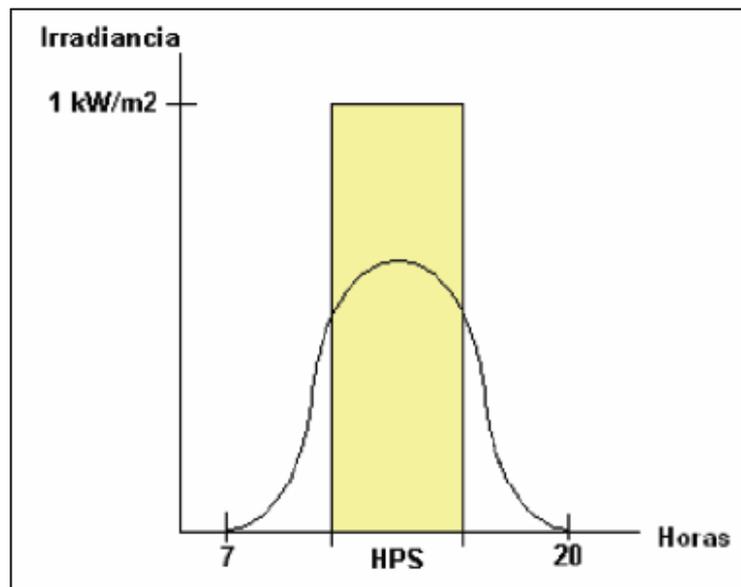


Figura 3.24 Definición de las horas pico solares [36]

La irradiación H (kWh/m^2), es igual al producto de la irradiancia de referencia, I , y las horas pico solares, HPS . Como $I=1\text{kWh/m}^2$, se tiene entonces que los valores numéricos de la irradiación y las horas pico solares son iguales.

$$H \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right] = I \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right] \times HPS[h] \quad (3.8)$$

La cantidad de energía producida por un panel a lo largo de todo el día, es equivalente a la energía que se produciría en las horas de pico solar si el panel opera a su potencia máxima o nominal (W_p). Dicha potencia es el principal parámetro que describe el funcionamiento del panel y la especificación más importante en el dimensionamiento del generador FV.

El número de paneles necesario (N_p) se calcula empleando el número de horas pico solares del peor mes del año y la potencia pico del panel escogido:

$$N_p = \frac{E}{0.9 W_p \cdot HPS} \quad (3.9)$$

Pérdidas.- Las principales pérdidas que existen en el generador fotovoltaico son debidas a sombras, temperatura de las celdas superior a los 25°C , elementos desparejos, pérdidas en cables, o diferencias significativas entre el voltaje de operación y el del punto de máxima potencia.

Estas pérdidas pueden compensarse inicialmente mediante una instalación cuidadosa, que permita una adecuada ventilación de los módulos y cables. Debe buscarse además, que las características eléctricas de los módulos empleados permitan una adecuada recarga de las baterías en las condiciones climáticas particulares del lugar en que se instalan.

Con el fin de disminuir las pérdidas, deben considerarse los siguientes requerimientos:

- El generador fotovoltaico debe estar totalmente libre de sombras durante por lo menos 8 horas diarias, centradas al mediodía, y a lo largo de todo el año.

- El voltaje del punto de máxima potencia del generador fotovoltaico, a una temperatura ambiente igual a la máxima anual del lugar y a una irradiancia de 800 W/m², debe estar comprendido en el rango de 14,5 a 15 V.

Este último requisito, asegura que la corriente del generador FV sea mayor que la corriente en el punto de máxima potencia la mayor parte del tiempo; siempre que se cumplan los requisitos sobre las caídas de tensión en los cables y en el regulador de carga.

Nota: Sí el rango de voltajes de operación del generador se encuentra generalmente por debajo de estos límites, es posible que las baterías no se recarguen adecuadamente.

3.6.1 Estimación del consumo requerido

En el anterior cálculo se seleccionó una lámpara que tiene como potencia requerida 100 watts, de igual forma el arreglo de los postes es de forma unilateral y como el sistema que se está diseñando es un sistema autónomo, entonces, en cada poste se ubicara una lámpara, para lo cual el consumo se deberá calcular según el número de horas que permanezca encendida dicha lámpara.

Tiempo de uso del poste solar de aproximadamente 6 horas/día que si bien es cierto se usara a partir de las 18:00 pm hasta 24:00 cada día.

Pero antes se debe calcular la potencia efectiva que a su vez viene dado dividiendo la potencia de la lámpara para el rendimiento del balastro, los balastros tienen un rendimiento de 94% generalmente.

$$P_{efect} = \frac{100 \text{ w}}{0.94}$$

$$P_{efect} = 106.3 \text{ Watts}$$

Por tanto,

$$E_T = P_{efect} * h \tag{3.10}$$

Donde:

E_T : Consumo teórico

P_{efect} : Potencia del equipo

h : Número de horas por cada día (h/día)

Entonces el consumo teórico diario por cada lámpara o por cada poste viene a ser lo siguiente:

$$E_T = 106.3 \text{ watt} * \frac{6 \text{ horas}}{\text{día}}$$

$$E_T = 637.8 \frac{W.h}{\text{día}}$$

Recurso energético disponible es **3.5 HPS** que ya se analizó anteriormente.

A partir del consumo energético teórico se debe calcular el consumo energético real (E), necesario para mitigar los factores de pérdidas que van a existir en la instalación fotovoltaica, de tal modo que, se tendrán en cuenta los rendimientos de las etapas existentes aplicando la siguiente expresión:

$$E = \frac{E_T}{R} \quad (3.11)$$

R es el parámetro de rendimiento global de la instalación fotovoltaica, definido como:

$$R = (1 - K_b - K_c - K_v) \cdot \left(1 - \frac{K_a \cdot N}{P_d}\right) \quad (3.12)$$

Donde:

K_b : Coeficiente de pérdidas por rendimiento dl acumulador:

0.05 en sistemas que no demanden descargas intensas.

0.1 en sistemas con descargas profundas.

K_c : Coeficiente de pérdidas en el inversor:

0.05 para inversores senoidales puros, trabajando en régimen óptimo.

0.1 en otras condiciones de trabajo, lejos del óptimo.

K_v : Coeficiente de pérdidas varias:

Agrupar otras pérdidas como (rendimiento de red, efecto Joule, etc.).

0.05 – 0.15 como valores de referencia.

K_a : Coeficiente de auto descarga diario:

0.002 para baterías de baja auto descarga Ni-Cd.

0.005 para baterías estacionarias de Pb-ácido (las más habituales).

0.012 para baterías de alta auto descarga (arranque de automóviles).

N : Número de días de autonomía de la instalación:

Son los días que la instalación deberá operar bajo una irradiación mínima (días nublados continuos). De 3-10 comúnmente.

P_d : Profundidad de descarga de la batería:

Esta profundidad no excederá el 80% (referida a la capacidad nominal del acumulador), ya que la eficiencia de este decrece en gran medida con ciclos de carga – descargas muy profundas.

Para el sistema fotovoltaico propuesto los valores que van a fijar son los siguientes:

$K_b=0.05$ por que en este caso el sistema no está sometida a descargas intensas.

$K_c=0.05$ se usa un inversor DC/AC senoidal.

$K_v=0.05$ debido a que el sistema es simple y no cuenta con otras pérdidas.

$K_a=0.005$ para baterías estacionarias Pb-ácido más usados comúnmente en SF.

$N=3$ por ser un sistema aislado con poco consumo.

$P_d=0.5$ para baterías de descarga profundas.

$$R = ((1 - 0.05 - 0.05 - 0.05)) \times \left(1 - \frac{0.005 \times 3}{0.5}\right)$$

$$R = 0.8245$$

$$E = \frac{0.6378 \frac{kW \cdot h}{dia}}{0.8245}$$

$$E = 0.7735 \frac{kW \cdot h}{dia}$$

3.6.3 Dimensionamiento del generador fotovoltaico [37]

Luego de haber calculado el consumo estimado diario se procede a dimensionar el generador fotovoltaico. El número total de módulos solares que se debe instalar obedece a la siguiente expresión.

Número de paneles solares

Los paneles solares producen una energía eléctrica durante todo el día equivalente a solo las horas pico solar operando a su máxima potencia. Esta potencia es el parámetro principal que define un panel solar.

En el mercado hay diversos tipos de paneles solares con distintas potencias máximas entre 75, 100, 150, 165, 160 W, según la energía requerida. De igual forma son de distintas celdas cristalinas de silicio.

El número de paneles solares N_P necesarios se calcula de la siguiente manera:

$$N_P = \frac{E}{0.9(w_P \cdot HPS)}$$

$$N_P = \frac{773}{0.9(130 \times 3.5)}$$

$$N_P = 1.887$$

$$N_P \approx 2 \text{ Panel Fotovoltaico}$$

Para el presente trabajo se optará dos paneles de 130 Wp de potencia nominal.

Otro criterio de cálculo donde del panel solar obedece a la expresión siguiente:

$$Ar = 1200 \times \frac{(E_d)}{(I_d)} \quad (3.13)$$

Dónde:

Ar: Tamaño del panel (Wp)

E_d : Consumo de energía (kWh/día)

I_d : HPS

Normalmente 1200 es una cifra mayorada al 20% de recurso solar de 1000 W/m^2 , este valor cubre el bajo rendimiento del panel solar.

$$Ar = 1200 \times \frac{0.6378 \text{ kWh/día}}{3.5}$$

$$Ar = 218.67 \text{ Wp}$$

Para el cual se buscará un panel fotovoltaico de 245 Wp que es el más próximo en los catálogos, pero como la decisión a tomar será poner dos paneles en paralelo se seleccionará dos paneles de 130 Wp.

Entonces el panel seleccionado corresponde al panel **AXN, Monocristalino de 130 Wp, Voltaje nominal de 12 V.**

3.6.2 Orientación y ángulo de inclinación de los paneles

Orientación

Un panel solar genera electricidad incluso en ausencia de luz solar directa, es decir aun en días nublados este generará energía, sin embargo las condiciones óptimas de operación implica la presencia de luz solar plena y un panel orientado lo mejor posible hacia el sol, con la única finalidad de aprovechar al máximo la luz solar directa.

En el hemisferio norte es decir por encima de la línea Ecuatorial, el panel deberá orientarse hacia el sur, y en lado del hemisferio sur el panel será orientado hacia el norte.

En el caso del presente proyecto tiene lugar en la ciudad de Riobamba que se encuentra ligeramente en el Hemisferio Sur, por lo tanto la orientación del panel deberá ser hacia el norte.

Angulo de azimut.- Ángulo que forma la proyección sobre el plano horizontal de la superficie del generador y la dirección sur. Vale 0 grados si coincide con la orientación sur, es positivo hacia el oeste y negativo hacia el este. Si coincide con el este su valor es -90 y si coincide con el oeste su valor es $+90$ grados.

$$Y = \alpha$$

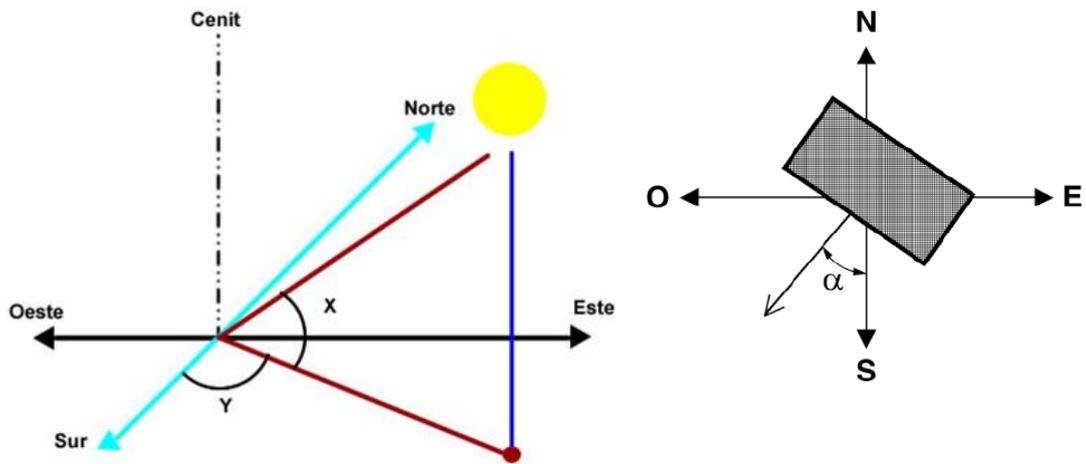


Figura 3.25: Orientación de un panel solar [32]

Para lugares que se encuentran en línea Ecuatorial este ángulo es despreciable, Riobamba se encuentra a $1^{\circ}39'$ de latitud geográfica la desviación es mínima.

Inclinación

El sol se traslada de este a oeste. En cuanto a los paneles solares trabajan con su máxima eficiencia cuando son orientados hacia el sol, con un ángulo perpendicular con este a medio día, los paneles solares son colocados en una posición fija, por lo que no pueden seguir al sol en toda su trayectoria, esto nos dice que no siempre formaran un los 90° , el ángulo que forma con la cara del panel y la horizontal se denomina ángulo de inclinación, a causa del movimiento de la tierra alrededor del sol (movimiento de traslación), existen variaciones estacionales.

1.- Sol de invierno

2.- Sol de verano

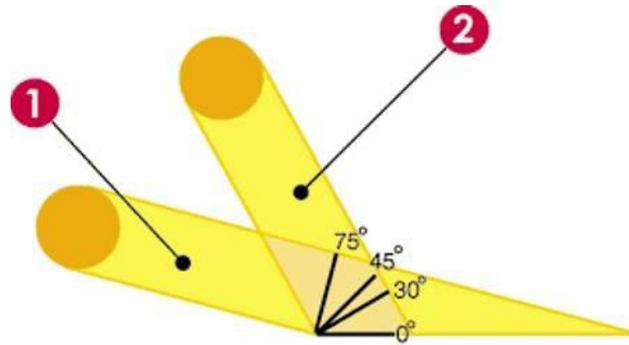


Figura 3.26 Ángulo de posicionamiento óptimo en invierno y verano [35]

En invierno, el sol no alcanza el mismo ángulo que en verano, en verano los paneles solares deberán ser situados con un ángulo menor que de tal forma logren aprovechar al máximo la luz solar, por el contrario en invierno los paneles con posicionamiento para verano no podrán alcanzar el máximo aprovechamiento de la luz solar. Para cada latitud existe un ángulo de inclinación óptimo, según la tabla adjunta muestra valores dependiendo de la latitud geográfica.

TABLA 3.8 ÁNGULO DE INCLINACIÓN DE PANEL SOLAR EN FUNCIÓN DE LA LATITUD DE LUGAR [35]

Latitud del lugar	Ángulo en Invierno	Ángulo en verano
0 al 5 grados	15 grados	15 grados
15 a 25 grados	Latitud	Latitud
25 a 30 grados	Latitud + 5 grados	Latitud - 5 grados
30 a 35 grados	Latitud + 10 grados	Latitud - 10 grados
35 a 40 grados	Latitud + 15 grados	Latitud - 15 grados
más de 40 grados	Latitud + 20 grados	Latitud - 20 grados

Según esta tabla la inclinación que se ajusta para la ciudad de Riobamba es de **15°** este ángulo se mantendrá fijo durante todo el año.

Existen otros criterios que dice que:

α = latitud del lugar, si el sistema FV es utilizado todo el año

α = latitud del lugar $- 15^\circ$, si el sistema FV es utilizado solo en verano

α = latitud del lugar $+15^\circ$, si el sistema FV es utilizado solo en invierno

Tomando en cuenta este segundo criterio el ángulo de inclinación óptima sería igual a la latitud del lugar es decir la inclinación será $1^\circ 39'$, que pasándolo a grados será 1.668° .

Bien también hay recomendaciones de expertos que han hecho estudios más profundos en el tema que aconsejan que en lugares cercanos a la línea Ecuador este ángulo es 0°

Ahora para elegir entre las dos alternativas se procede a realizar un estudio más profundo respecto a cada ángulo de inclinación, se evaluara mes a mes y luego se hará un promedio.

Para $\alpha = 15^\circ$

TABLA 3.9 RADIACIÓN RECIBIDA CON UN ÁNGULO DE INCLINACIÓN DE 15°

Angulo de inclinación del panel		$W''s$ [°]	R_b	$I_{dm\beta}$ [kW.h/m ²]	$D_{dm\beta}$ [kW.h/m ²]	ρ	$R_{dm\beta}$ [kW.h/m ²]	$G_{dm\beta}$ [kW.h/m ²]
[°]	[rad]							
15	0.262	90.642	1.115	5.701	1.77	0.2	0.023	7.49
15	0.262	90.413	1.056	4.509	2.056	0.2	0.021	6.59
15	0.262	90.069	0.975	6.035	1.379	0.2	0.026	7.44
15	0.262	87.16	0.892	5.742	1.076	0.2	0.026	6.84
15	0.262	84.152	0.823	5.358	0.777	0.2	0.025	6.16
15	0.262	82.584	0.788	3.763	1.255	0.2	0.021	5.04
15	0.262	83.212	0.802	4.811	0.866	0.2	0.024	5.7
15	0.262	85.78	0.86	5.008	1.162	0.2	0.024	6.19
15	0.262	89.331	0.943	4.499	1.764	0.2	0.023	6.29
15	0.262	90.298	1.027	5.754	1.607	0.2	0.025	7.39
15	0.262	90.585	1.098	6.992	1.299	0.2	0.026	8.32
15	0.262	90.699	1.132	6.212	1.609	0.2	0.024	7.85
							Promedio	6.78

Para $\alpha = 1.668^\circ$

TABLA 3.10 RADIACIÓN RECIBIDA CON UN ÁNGULO DE INCLINACIÓN DE 1.668°

Ángulo de inclinación del panel		W"s [°]	R _b	I _{dmβ} [kW.h/m ²]	D _{dmβ} [kW.h/m ²]	ρ	R _{dmβ} [kW.h/m ²]	G _{dmβ} [kW.h/m ²]
[°]	[rad]							
1.668	0.029	90.642	1.016	5.195	1.7	0.2	0	6.9
1.668	0.029	90.413	1.01	4.313	2.038	0.2	0	6.35
1.668	0.029	90.069	1.001	6.196	1.411	0.2	0	7.61
1.668	0.029	89.447	0.991	6.379	1.156	0.2	0	7.54
1.668	0.029	88.863	0.983	6.399	0.88	0.2	0	7.28
1.668	0.029	88.56	0.979	4.675	1.409	0.2	0	6.08
1.668	0.029	88.681	0.981	5.885	0.989	0.2	0	6.87
1.668	0.029	89.179	0.987	5.747	1.267	0.2	0	7.01
1.668	0.029	89.87	0.997	4.757	1.826	0.2	0	6.58
1.668	0.029	90.298	1.006	5.637	1.602	0.2	0	7.24
1.668	0.029	90.585	1.014	6.457	1.243	0.2	0	7.7
1.668	0.029	90.699	1.018	5.587	1.527	0.2	0	7.11
Promedio								7.02

Para $\alpha = 0^\circ$

TABLA 3.11 RADIACIÓN RECIBIDA CON UN ÁNGULO DE INCLINACIÓN DE 0°

Ángulo de inclinación del panel		W"s [°]	R _b	I _{dmβ} [kW.h/m ²]	D _{dmβ} [kW.h/m ²]	ρ	R _{dmβ} [kW.h/m ²]	G _{dmβ} [kW.h/m ²]
[°]	[rad]							
0	0	90.642	1	5.113	1.687	0.2	0	6.8
0	0	90.405	1	4.27	2.03	0.2	0	6.3
0	0	90.069	1	6.19	1.41	0.2	0	7.6
0	0	89.724	1	6.437	1.163	0.2	0	7.6
0	0	89.432	1	6.51	0.89	0.2	0	7.4
0	0	89.267	1	4.775	1.425	0.2	0	6.2
0	0	89.324	1	5.999	1.001	0.2	0	7
0	0	89.59	1	5.823	1.277	0.2	0	7.1
0	0	89.935	1	4.771	1.829	0.2	0	6.6
0	0	90.283	1	5.603	1.597	0.2	0	7.2
0	0	90.579	1	6.368	1.232	0.2	0	7.6
0	0	90.699	1	5.488	1.512	0.2	0	7
Promedio								7.03

Al comparar las tres tablas el ángulo en el cual se aprovecha mejor el sol es cuando $\alpha = 0^\circ$ por lo tanto el panel fotovoltaico se ubicará en una posición horizontal, para esta posición el **ángulo azimut** es despreciable ya que el panel esta en forma horizontal y no influye en nada este ángulo.

3.6.4 Dimensionamiento del sistema de acumulación [37]

Para el dimensionamiento del acumulador solar se debe conocer los días de autonomía del sistema fotovoltaico que nos indica el tiempo que funcionará por si solo en días nublados sin que haya luz solar radiante, en el presente proyecto se toma tres días de autonomía, que al revisar otros sistemas aislados se ha encontrado como el mínimo número de días.

$$\text{Cap. total acumulador} = \frac{(\text{N}^\circ \text{ días de autonomía} \times \text{Consumo de energía diario})}{\text{Voltaje nominal} \cdot (\text{Profundidad de descarga})} \quad (3.14)$$

$$\text{Capacidad total del acumulador} = \frac{(3 \times 637.8)}{12 \times 0.7}$$

$$\text{Capacidad total del acumulador} = 227.786 \text{Ah}$$

Ahora con la capacidad del acumulador se procede a calcular la cantidad de baterías solares necesarias para satisfacer la energía del sistema aislado.

$$\text{N}^\circ \text{ de acumuladores} = \frac{\text{Capacidad total del acumulador(Ah)}}{\text{Capacidad de acumulador (Ah)}} \quad (3.15)$$

$$\text{N}^\circ \text{ de acumuladores} = \frac{227.778 \text{ Ah}}{300 \text{ Ah}}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de acumuladores} = 0.759$$

$$\text{N}^\circ \text{ de acumuladores} \approx 1$$

Ahora se necesita 1 acumulador de descarga profunda de 70% y de 300 amperios-hora, que al revisar los catálogos no existe tal batería que cumplan esta demanda energética, pero se pueden conectar las baterías en serie o en paralelo según convengan para aprovechar el voltaje o la corriente.

Entonces, se selecciona 2 baterías **Power.Block OPzS** 12 V y 150 Ah, los mismos que se conectarán en paralelo para aumentar su capacidad de amperios hora. En la salida se tendrá 12 voltios y 300 amperios-hora.

3.6.5 Dimensionamiento del regulador [37]

Para seleccionar correctamente este componente fotovoltaico, se debe conocer la corriente máxima que atraviesa los conductores, que por lo general viene dado entre el panel y la batería o la carga y la batería, para entenderlo correctamente se procederá hacer el respectivo análisis, por lo tanto:

La máxima corriente que atraviese definirá el tamaño del controlador:

$$P = V \cdot I \quad (3.16)$$

$$I = \frac{P}{V}$$

- **Batería – carga**

$$P_{\text{lámp.}} = 106.3 \text{ Watt}$$

$$V_{\text{batería}} = 12\text{V}$$

$$I = \frac{106.3 \text{ Watts}}{12 \text{ V}}$$

$$I = 8.85 \text{ Amperios}$$

- **Panel - batería**

$$W_p = 240 \text{ Watt}$$

Batería de 12 V

$$I = \frac{240Watts}{12V}$$

$$I = 20 \text{ Amperios}$$

Es decir que el controlador a ser seleccionado para el sistema autónomo de generación fotovoltaica debe tener una corriente de 20 amperios como máximo, con este valor se procede a seleccionar del catálogo.

Se selecciona el controlador **Syscom SCI-120** que soporta una corriente hasta **20A**.

3.6.6 Dimensionamiento del inversor [37]

Para seleccionar un inversor se debe tener en cuenta algunos factores que son de vital importancia en la hora de seleccionar este dispositivo.

El inversor seleccionado debe tener las siguientes características técnicas:

La potencia de una lámpara de 100 W y potencia efectiva de 107 W.

- P máxima de 642Watts en 6 horas funcionamiento.
- Voltaje de entrada 12VCD
- Voltaje de salida 110VCA
- Frecuencia de 60 Hz

Se selecciona un Inversor **APS700HF de Tripp Lite** que suministra hasta 700 Watts.

3.6.7 Dimensionamiento del cableado [38]

El dimensionamiento del cableado constituye una de las tareas en las que se deberá prestar especial cuidado, ya que siempre que exista consumo habrá pérdidas debido a las caídas de tensión en los conductores.

Para dimensionar correctamente el cableado de un sistema fotovoltaico se debe tomar en cuenta algunos factores con los cuales están vinculados la corriente, longitud y el diámetro del conductor, etc. La longitud de los conductores entre los componentes del sistema debe realizarse lo más corta posible para minimizar las caídas de voltaje y reducir costos.

Para calcular la resistencia de un conductor cualquiera:

$$R = \frac{(V_a - V_b)}{I} \quad (3.17)$$

Dónde:

$V_a - V_b$: es la diferencia de potencial entre los puntos a y b

I: es la intensidad de corriente que atraviesa el conductor.

La resistencia R de un conductor cualquiera es proporcional a su longitud L e inversamente proporcional al área de su sección transversal:

$$R = \frac{L}{\sigma \cdot S} \quad (3.18)$$

Dónde:

R: Resistencia en ohmios

L: Longitud en metros

S: Sección del conductor en mm

σ : Resistividad del material del conductor

Sí, igualamos las dos formulas y despejamos S se tendrá:

$$\frac{(V_a - V_b)}{I} = \frac{L}{\sigma S}$$

$$S = \frac{LI}{\sigma(V_a - V_b)}$$

La resistividad para un conductor hecho de cobre es de:

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

$$\sigma = \frac{1}{0.01786} = 56$$

Sustituyendo este valor se tiene que:

$$S = \frac{L \times I}{56(V_a - V_b)}$$

Dónde:

S = Sección en mm²

L = Longitud en metros hasta el receptor

I = Intensidad en amperios

V_a-V_b = Caída de tensión en voltios

La caída de tensión se calcula para un porcentaje de la tensión nominal, que variara entre los equipos que interconecta.

TABLA 3.12 CAÍDAS DE TENSION POR TRAMOS [38]

Caída de Tension	Máxima (%)	Recomendado (%)
Panel - Regulador	3	1.0
Regulador - Baterías	1.0	0.5
Baterías – Inversor	1.0	1.0
Baterías-inversor-Luminaria	3.0	3.0

Los componentes del sistema fotovoltaico se encuentran separadas las siguientes distancias:

- Longitud entre panel-regulador: 12 m
- Longitud entre regulador-batería: 0.5 m
- Longitud entre batería-inversor: 0.5 m
- Longitud entre inversor-luminaria: 12 m

La corriente máxima que circulará por los conductores es la corriente de cortocircuito (I_{SC}) del panel solar que según los catálogos es I_{SC} es de 8.76 amperios

$$S = \frac{2 \times L \times I}{56(V_a - V_b)}$$

Donde ($V_a - V_b$) se define como:

$$(V_a - V_b) = (12V) \times (3\%) = 0,36$$

$$S = \frac{2(12)(8.76)}{56(0,36)}$$

$$S = 10,42 \text{ mm}^2$$

$$10,42 \text{ mm}^2 = \frac{\pi \times \emptyset^2}{4}$$

Donde el diámetro \emptyset es 1.82 mm

Ahora según la tabla de conductores se selecciona el conductor de acuerdo al calibre AWG:

TABLA 3.13 CALIBRE DE CABLES SEGÚN EL DIAMETRO Y ÁREA [38]

AWG	Diam. (mm)	Área (mm ²)	AWG	Diam. (mm)	Área (mm ²)
1	7,35	42,40	16	1,29	1,31
2	6,54	33,60	17	1,15	1,04
3	5,86	27,00	18	1,024	0,823
4	5,19	21,20	19	0,912	0,653
5	4,62	16,80	20	0,812	0,519
6	4,11	13,30	21	0,723	0,412
7	3,67	10,60	22	0,644	0,325
8	3,26	8,35	23	0,573	0,259
9	2,91	6,62	24	0,511	0,205
10	2,59	5,27	25	0,455	0,163
11	2,30	4,15	26	0,405	0,128
12	2,05	3,31	27	0,361	0,102
13	1,83	2,63	28	0,321	0,0804
14	1,63	2,08	29	0,286	0,0646
15	1,45	1,65	30	0,255	0,0503

De acuerdo al diámetro del conductor calculado se selecciona de la tabla un conductor # **7 AWG**.

3.7 Selección de dispositivo controlador del sistema [37]

El dispositivo electrónico a ser usado en este circuito es un timer que es un dispositivo mediante el cual, podemos regular la conexión ó desconexión de un circuito eléctrico pasado un tiempo determinado desde que se le dio dicha orden.

Es así una forma sencilla de controlar el encendido y el apagado de las lámparas que tendrán un uso de 6 horas por cada día, en el diagrama siguiente se muestra el circuito básico usando el temporizador.

Para este sistema se va usar un timer

Se selecciona un timer **POWER OFF DELAY, 12S, 110AC**

3.8 Cálculo para una luminaria led LU2 de 66 Watt

La luminaria seleccionada esta vez tiene las características siguientes:

Potencia: 66 Watt

Voltaje de entrada: 85 – 264 Vac

Rango de frecuencia: 47 – 63 Hz

Flujo luminoso: 4200 lm

Protección: IP65

Área efectiva de iluminación: 20 x 8 m para h= 6 m y 26 lux

26 x 10 m para h= 8 m y 15 lux

Vida operativa promedio: 50000 hrs

Peso neto: 7 Kg

Interdistancia entre lámparas: 15 – 18 m

Nivel de iluminancia: 26 lux

Ángulo de instalación: (10 - 15) °

Entonces el número de poste a colocarse si se usara este tipo de luminarias será:

Tomando en cuenta las interdistancia entre lámparas que el proveedor recomienda el número de postes necesarios para esta instalación será 9 postes igual que el anterior análisis, pero se debe recalcar que la distancia transversal de alcance será de 8 metros con una dispersión de lateral de 20 metros.

3.8.1 Cálculo del consumo real

Tiempo de uso 6 horas

Recurso energético disponible: 3.5 HPS

$$E_T = P \times H$$

E_T : Consumo teórico

P: Potencia de luminaria

H: Número de horas de funcionamiento

$$E_T = 66 \text{ watt} * \frac{6 \text{ horas}}{\text{dia}}$$

$$E_T = 396 \frac{W \cdot h}{\text{dia}}$$

Consumo real

$$E = \frac{E_T}{R}$$

R es el parámetro de rendimiento global de la instalación fotovoltaica, definido como:

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

Para el sistema fotovoltaico propuesto los valores que van a fijar son los siguientes:

$K_b=0.05$ por que en este caso el sistema no está sometida a descargas intensas.

$K_c=0.05$ se usa un inversor DC/AC senoidal.

$K_v=0.05$ debido a que el sistema es simple y no cuenta con otras pérdidas.

$K_a=0.005$ para baterías estacionarias Pb-ácido más usados comúnmente en SF.

$N=3$ por ser un sistema aislado con poco consumo.

$P_d=0.5$ para baterías de descarga profundas.

$$R = ((1 - 0.05 - 0.05 - 0.05))x \left(1 - \frac{0.005 \times 3}{0.5}\right)$$

$$R = 0.8245$$

$$E = \frac{0.396 \frac{kW \cdot h}{dia}}{0.8245}$$

$$E = 0.480 \frac{kW \cdot h}{dia}$$

3.8.2 Dimensionamiento del panel fotovoltaico [37]

$$N_p = \frac{E}{0.9(w_p \cdot HPS)}$$

$$N_p = \frac{480}{0.9(75 \times 3.5)}$$

$$N_p = 2.03$$

$$N_p \approx 2 \text{ Paneles Fotovoltaicos}$$

Para el presente trabajo se optará dos paneles de 75 Wp de potencia nominal, o se podría instalar 1 panel fotovoltaico de 170 Wp.

Entonces el panel seleccionado corresponde al panel **AXN, Monocristalino de 75 Wp, Voltaje nominal de 12 V.**

3.8.3 Dimensionamiento de los acumuladores [37]

$$\text{Capacidad total del acumulador} = \frac{(3 \times 396)}{12 \times 0.7}$$

$$\text{Capacidad total del acumulador} = 141.4 \text{ Ah}$$

Ahora con la capacidad del acumulador se procede a calcular la cantidad de baterías solares necesarias para satisfacer la energía del sistema aislado.

$$\text{N}^\circ \text{ de acumuladores} = \frac{\text{Capacidad total del acumulador(Ah)}}{\text{Capacidad de acumulador (Ah)}}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de acumuladores} = \frac{141.4 \text{ Ah}}{150 \text{ Ah}}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de acumuladores} = 0.942$$

$$\text{N}^\circ \text{ de acumuladores} \approx 1$$

Entonces, se selecciona 1 batería **Power.Block OPzS** 12 V y 150 Ah

3.8.4 Dimensionamiento del regulador de carga [37]

$$P = V \cdot I$$

$$I = \frac{P}{V}$$

- **Batería – carga**

$$P_{\text{lamp.}} = 66 \text{ Watt}$$

$$V_{\text{batería}} = 12\text{V}$$

$$I = \frac{66 \text{ Watts}}{12 \text{ V}}$$

$$I = 5.5 \text{ Amperios}$$

- **Panel - batería**

Wp= 150 Watt

Batería de 12 V

$$I = \frac{150 \text{ Watts}}{12 \text{ V}}$$

$$I = 12.5 \text{ Amperios}$$

Se selecciona el controlador **Morningstar PS-15** que soporta una corriente hasta **15A**.

3.8.5 Dimensionamiento del inversor [37]

El inversor seleccionado debe tener las siguientes características técnicas:

La potencia de una lámpara de 66 W.

- P máxima de 396 Watt en 6 horas funcionamiento.
- Voltaje de entrada 12VCD
- Voltaje de salida 110VCA
- Frecuencia de 60 Hz

Se selecciona un inversor **STEREN 600W**.

3.8.6 Selección del conductor

$$S = \frac{L \times I}{56(V_a - V_b)}$$

Los componentes del sistema fotovoltaico se encuentran separadas las siguientes distancias:

- Longitud entre panel-regulador: 7 m
- Longitud entre regulador-batería: 0.5 m
- Longitud entre batería-inversor: 0.5 m
- Longitud entre inversor-luminaria: 7 m

La corriente máxima que circulará por los conductores es la corriente de cortocircuito del panel solar que según los catálogos es I_{SC} es de 4.78 amperios

$$S = \frac{2 \times L \times I}{56(V_a - V_b)}$$

Donde $(V_a - V_b)$ se define como:

$$(V_a - V_b) = (12V) \times (3\%) = 0,36$$

$$S = \frac{2(7)(4.78)}{56(0,36)}$$

$$S = 3,31 \text{ mm}^2$$

$$3,31 \text{ mm}^2 = \frac{\pi \times \emptyset^2}{4}$$

Donde el diámetro \emptyset es 2.05 mm

De acuerdo a la tabla 3.12 el conductor seleccionado será un cable # **12 AWG**.

3.9 Dimensionamiento del poste solar

En el mercado existen postes solares que están a nuestra entera disposición últimamente, estos postes solares han ganado gran popularidad y se están convirtiendo en el estándar de iluminación para las rutas urbanas y rurales. Sus principales beneficios radican en la autosuficiencia del mismo, sin ser necesaria la presencia de un tendido eléctrico para energizarlo. Dependiendo de las necesidades, se puede optar por iluminación LED, que otorga importantes beneficios como los son el nulo mantenimiento y la robustez de la fuente lumínica, siendo resistente a vibraciones y actos vandálicos, o bien se puede utilizar luminarias CFL que dan la ventaja de cubrir un área mayor y con iluminación más homogénea.

Un poste solar está compuesto por los siguientes elementos:

- Panel fotovoltaico con su respectivo soporte
- Batería de Ciclo Profundo con gabinete para su alojamiento
- Controlador de Carga
- Luminaria de bajo consumo
- Poste de acero.
- Cables para interconexiones.

3.9.1 Material del poste solar

El tipo material a ser empleado son tubos estructurales de un acero A36 con un límite de fluencia mínimo de 2400 kg/cm^2 , que los encontramos en el mercado en una gama de diferentes diámetros.

Para construir la cama para los paneles solares que están ubicados sobre el poste, estos están fabricados con ángulos laminados en L de 25x25x3 emperrados a una plancha cuadrada de hacer

o de 6 mm de espesor, plancha que estará soldada al poste

De igual forma la palca base estará echa de un plancha de acero A36

3.9.2 Forma

En cuanto a la forma de un poste solar varía desde un simple tubo perpendicular hasta un diseño estructural, más adelante se observara cada uno de estos.



Figura 3.27 Poste solar forma simple [40]



Figura 3.28 Poste solar con brazo curvo [40]



Figura 3.29 Poste solar ornamental [41]



Figura 3.30 Poste solar con variación del brazo [42]

Como se ven en las figuras anteriores cada diseño tiene su particularidad y su forma, esto lleva a pensar que según la importancia del espacio a iluminar varía su modelo, pero en caso de este proyecto el modelo a fabricar será de tal forma que sea una vista agradable y que adorne el lugar.

Finalmente el poste a ser diseñado es:

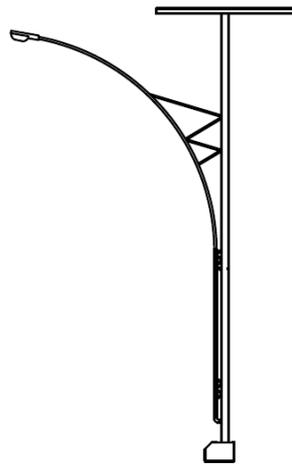


Figura 3.31 Poste solar estructural

3.10 Mantenimiento de sistemas fotovoltaicos [43]

Paneles fotovoltaicos: Requieren un mantenimiento casi nulo o muy escaso, debido a su propia configuración ya que no tienen partes móviles y las células y sus conexiones internas están encapsuladas en varias capas de material protector.

Es conveniente hacer una inspección general 1 ó 2 veces al año, asegurarse de que las conexiones entre paneles y al regulador están bien ajustadas y libres de corrosión.

En la mayoría de los casos, la acción de la lluvia elimina la necesidad de limpieza de los paneles. En caso de ser necesario, simplemente se puede utilizar agua y algún detergente no abrasivo.

Regulador: La simplicidad de regulación reduce sustancialmente el mantenimiento y hace que las averías sean muy escasas.

Las operaciones que se pueden realizar son las siguientes: observación visual del estado y funcionamiento del regulador; comprobación del conexionado y cableado del equipo; observación de los valores instantáneos del voltímetro y amperímetro: dan un índice del comportamiento de la instalación.

Acumulador: Este elemento requiere una mayor atención en la instalación; de su uso correcto y buen mantenimiento dependerá en gran medida su duración. Las operaciones usuales que deben realizarse son las siguientes:

- Comprobación del nivel del electrolito (cada 6 meses aproximadamente): debe mantenerse dentro del margen comprendido entre las marcas de "Máximo" y "Mínimo". Si no existen estas marcas, el nivel correcto del electrolito es de 20 mm por encima del protector de separadores.
- Si se observa un nivel inferior en alguno de los elementos, se deben rellenar con agua destilada o desmineralizada.
- No debe rellenarse nunca con ácido sulfúrico. Al realizar la operación anterior debe comprobarse también el estado de los terminales de la batería, debe limpiarse de posibles depósitos de sulfato y cubrir con vaselina neutra todas las conexiones.
- Medida de la densidad del electrolito (si se dispone de un densímetro): con el acumulador totalmente cargado, debe ser de 1,240 +/- 0,01 a 20 grados Celsius. Las densidades deben ser similares en todos los vasos. Diferencias importantes en un elemento es señal de posible avería.

Inversor: en la actualidad la mayoría de los inversores no requieren de ningún tipo de mantenimiento específico.

3.11 Diseño de los pernos de anclaje

Los pernos de anclaje son el medio por el cual se enlaza la cimentación o también conocido como "plinto" con la placa base del poste solar.

Estos pernos deberán ser colocados en la cimentación antes de proceder a su colado, debiendo tener mucho cuidado en su colocación, para evitar posteriores modificaciones que resultan costosas.

El centro de gravedad y peso de la estructura del poste solar se encuentra en las coordenadas siguientes:

$$X = 145,40 \text{ mm}$$

$$L = 450 \text{ mm}$$

$$Y = 4844,81 \text{ mm}$$

$$L' = 370,40 \text{ mm}$$

$$Z = 0$$

$$M = 20135,616 \text{ Kgf.mm}$$

$$P = 252,96 \text{ Kg}$$

$$W = 252,96 \text{ Kgf}$$

Datos obtenidos de Solidwork propiedades de la estructura modelada, los datos son determinados desde el punto central de la placa base.

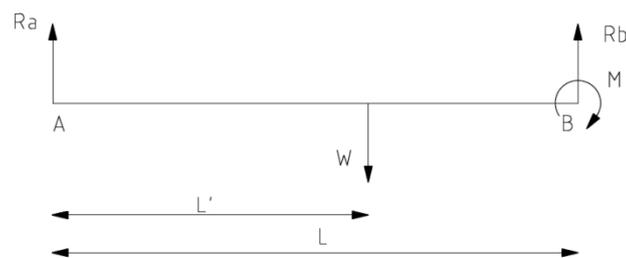


Figura 3.32 Diagrama de fuerzas

$$\sum MA = 0$$

$$0 = W \cdot L' - R_B \cdot L + M$$

$$R_B = \frac{W \cdot L' + M}{L}$$

$$R_B = \frac{252,96 \times 370,40 + 20135,616}{450}$$

$$R_B = 113832 \text{ Kgf}$$

$$\sum Fy = 0$$

$$R_B + R_A - W = 0$$

$$R_A = W - R_B$$

$$R_A = 252,96 - 113832$$

$$R_B = -113579,04 \text{ Kgf}$$

El signo negativo indica que la reacción es en sentido contrario

Ahora con el resultado de las reacciones se procede al cálculo del diámetro del perno de anclaje.

Esfuerzo de tracción

$$\sigma_T = \frac{4 \cdot R_A}{\pi D^2}$$

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot R_A}{\pi \cdot \sigma_T}}$$

$$D_1 = 15 \text{ mm}$$

Esfuerzo por compresión

$$\tau_c = \frac{4 \cdot R_B}{\pi D^2}$$

$$D_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot R_B}{\pi \tau_c}}$$

$$D_2 = 14 \text{ mm}$$

Con relación a los pernos de anclaje fijos (con gachos), según datos prácticos proporcionado por manuales de hormigón armado, indica que para conservar la igualdad de la resistencia y de la adherencia, el perno en u extremidad, debe ser fijado en el hormigón a una profundidad no mayor de 15 a 20 diámetros del perno.

Entonces:

$$L = 20 \times D_1$$

$$L = 20 \times 15$$

$$L = 30 \text{ cm.}$$

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

4.1 Generalidades

Los costos de un proyecto fotovoltaico de generación eléctrica son elevados, debido a muchos factores la inversión inicial se hace un poco incómoda ya que sus componentes tienen un costo elevado por la tecnología que usan, desde el punto de vista económico no es muy rentable.

4.2 Costos directos

Los costos directos involucran directamente equipos y demás componentes del sistema fotovoltaico por el cual se realizará un análisis detallado de cada uno de sus componentes del sistema en su totalidad. A continuación en la tabla 4.1 indica estos valores desde el valor unitario hasta el valor total.

TABLA 4.1 COSTOS DIRECTOS

MATERIALES				
ITEM	DENOMINACIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNIT. (\$)	TOTAL
1	Panel solar Monocristalino 75 Wp	18	546,20	9831,16
2	Acumuladores estacionarios 150 Ah/12V	9	740	6660
3	Controlador Morningstar PS-15	9	105,86	952,74
4	Inversor 12VDC a 120VCA 400W	9	268,24	2414,16
5	Luminaria LED LU2	9	450	4050
6	timer	9	45	405
7	Tubos estructurales ϕ 6"	9	120	1080
8	Tubos estructurales ϕ 2 1/2"	15	27,90	418,5
9	Tubos estructurales ϕ 1 1/2"	9	18	162
10	Ángulos laminados 25x25x3	14	10,18	142,52
11	Planchas de acero A36 550x550x6	9	70	630
12	Planchas de acero A36 300x300x4	9	45	405
13	Plancha tool	5	36	180
14	Electrodos (lb)	30	1,90	57
15	Cable AWG #13	450	1	450
16	Pintura (gal)	4	5,50	22
17	Thinner (gal)	2	17,56	35,12
18	Taype	10	1	10
19	Perno Allen M10-1.5 x20	8	0,40	3,2
20	Tornillo M5x20	14	0,25	3,5
21	Perno M10-1.5 x25	4	0,80	3,2
22	Tuerca M10-1.5	4	0,20	0,8
MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
ITEM	DENOMINACIÓN	HORA/EQUIPO	COSTO HORA	TOTAL
1	Pluma	8	30	240
2	Compresor	8	10	80
3	Soldadora eléctrica	120	10	1200
4	Soldadora Oxi-acetilénica	8	10	90
5	Herramientas menores	24	1,44	34,78

MANO DE OBRA				
ITEM	DENOMINACIÓN	HORA/HOMBRE	COSTO HORA	TOTAL
1	Ayudante mecánico	160	1,76	281,6
2	Técnico electricista	24	2,25	54
3	Maestro mecánico	160	2,25	360
TRANSPORTE				
ITEM	DENOMINACIÓN	UNIDADES	VALOR UNIT.	TOTAL
1	Panel solar fotovoltaico	16	5	80
2	Sistema estructural de poste solar	8	3	14,15
3	Transporte del personal	4	1,50	6
COSTO TOTAL				30356,87

4.3 Costos indirectos

Estos costos no están vinculados de una manera directa en la ejecución del presente proyecto, dichos costos se describen a continuación y abarcan el 25% de los costos directos para proyectos en instituciones públicas, pero en este caso será cero por ser un proyecto realizado por un estudiante egresado de la Facultad de Mecánica.

TABLA 4.2 COSTOS INDIRECTOS

ITEM	DENOMINACIÓN	PORCEN	VALOR
1	Costos administrativos	0%	0
2	seguros	0%	0
3	Secretaria	0%	0
4	Conserje	0%	0
5	Servicios Básicos (Luz, Agua, Telf.)	0%	0
6	Utilidad	0%	0
7	Diseño ingenieril	0%	0
8	Fiscalizador	0%	0
9	Construcciones provisionales	0%	0
TOTAL		0%	0

4.4 Costo total del proyecto

El costo total del proyecto está representado por la suma de los costos directos e indirectos, en la tabla 4.3 se detallan estos valores.

TABLA 4.3 COSTOS TOTALES

COSTO TOTAL		
ITEM	DENOMINACIÓN	VALOR
1	Costos directos. (USD)	29321,87
2	Costos indirectos. (USD)	0
	COSTO TOTAL (USD)	29321,87

4.5 Costo actual de la energía fotovoltaica y convencional [37]

En la actualidad el costo promedio por kWh es de 8 centavos de dólar este valor es lo que se paga a CONELEC, pero en realidad es costo viene subsidiado por el estado.

Pero a partir de julio del presente año el gobierno el gobierno mediante un decreto señalo que el subsidio se mantendrá solo para los consumidores de no más de 500 kWh ya que si se sobrepasase de este valor el kWh no será subsidiado y llegara a costar hasta 67 centavos de dólar por cada kWh.

Al comparar el costo de la energía eléctrica convencional con otras provenientes de energías renovables este resulta en desventaja ya que por la tecnología que utiliza la producción de energía eléctrica con fuentes renovables resulta muy costosa.

El estado ecuatoriano ha emitido una regulación para ayudar a remediar estos valores muy elevados, para lo cual el estado asumirá un costo de 52,04 centavos de solar por cada kWh generado mediante energía solar fotovoltaica.

4.6 Costo real de la energía solar fotovoltaica generada y ahorro anual [37]

Para determinar el costo de la energía generada se debe conocer el ahorro energético anual de todo el sistema.

Eficiencia total del sistema: 0,96

$$\text{Energía total generada} = 3712,5 \frac{\text{Wh}}{\text{día}}$$

$$3712,5 \frac{\text{Wh}}{\text{día}} \times \frac{365 \text{ días}}{\text{año}} \times \frac{1 \text{ kWh}}{1000 \text{ Wh}} = 1355,06 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

Esta cifra indica que en un año de generación se tendrá 1355,06 kWh, una vez obtenido este valor se calculará el ahorro económico.

$$\text{Ahorro} = 1355,06 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \times \frac{0,08 \text{ dólares}}{\text{kWh}} = 108,405 \text{ dólares/año}$$

La vida útil promedio del sistema fotovoltaico depende mucho de la vida de sus componentes, un valor estimativo que se recomienda es de 25 años como vida promedio de estos sistemas para este periodo de tiempo se tendrá un ahorro energético que se calculará a continuación.

$$1355,06 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \times 25 \text{ años} = 33876,5 \text{ kWh/ 25años}$$

El ahorro económico en este tiempo que se está analizando será:

$$108,405 \frac{\text{dólares}}{\text{año}} \times 25 \text{ años} = 2710,125 \text{ dólares}$$

Si deseamos estimar el costo del kWh de la energía producida por el sistema fotovoltaico se tomara en cuenta el costo total del sistema fotovoltaico, dividido para la potencia producida durante toda su vida útil, es decir durante 25 años.

$$\text{Costo del kWh generado} = \frac{27905,2 \text{ dólares}}{33876,5 \text{ kWh}} = 0,82 \frac{\text{dólares}}{\text{kWh}}$$

Este valor calculado equivale al costo por kWh que genera el sistema que se está estudiando, este valor esta en 0,82 Centavos de dólar por cada kWh, que si se hiciera la comparación con el costo actual en nuestro país estaría en gran desventaja.

Pero desde hace algunos años atrás mediante el Consejo Nacional de Electricidad, el estado ecuatoriano ha venido asumiendo el costo por kWh generado con un valor de 52,04 centavos de dólar.

Entonces para este valor de kWh la inversión se recuperara en:

$$1355,06 \frac{\text{Kwh}}{\text{año}} \times \frac{0,5204 \text{ dólares}}{\text{Kwh}} = 705,17 \text{ dólares/año}$$

$$\text{Tiempo recuperación} = \frac{27905,2 \text{ dólares}}{705,17 \text{ dólares/año}}$$

$$\text{Tiempo recuperación} = 40 \text{ años}$$

Es decir que desde el punto de vista económico no es rentable ya que la recuperación de la inversión se da en los 40 años de funcionamiento, que es mucho mayor a la vida útil del sistema.

4.7 Análisis comparativo de costos de los sistemas diseñados

- Sistema con lámpara de vapor de sodio de alta presión

TABLA 4.4 COSTO TOTAL DEL SISTEMA CON LÁMPARA DE SODIO DE ALTA PRESIÓN

ITEM	DENOMINACIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNIT. (\$)	TOTAL
1	Panel solar Monocristalino 130 Wp	18	546,20	9831,6
2	Acumuladores estacionarios 150 Ah/12V	18	740	13320
3	Controlador SunSaver SS-20L	9	105,86	952,74
4	Inversor 12VDC a 120VCA 400W	9	268,24	2414,16
5	Luminaria	9	123,50	1111,5
6	Lámpara 100 W Philips	9	32,50	292,5
7	timer	9	45	405
8	Tubos estructurales ϕ 6"	9	198	1782
9	Tubos estructurales ϕ 2 1/2"	18	27,90	502,2
10	Tubos estructurales ϕ 1 1/2"	9	18	162
11	Ángulos laminados 25x25x3	14	10,18	142,52
12	Planchas de acero A36 550x550x6	9	70	630
13	Planchas de acero A36 300x300x4	9	45	405
14	Electrodos (lb)	30	1,90	57
15	Cable AWG #13	450	1	450
16	Pintura (gal)	4	5,50	22
17	Thinner (gal)	2	17,56	35,12
18	Taype	10	1	10
			SUMA TOTAL	32525,34

- Sistema con luminaria led LU2

TABLA 4.5 COSTO TOTAL DEL SISTEMA CON LUMINARIA LED LU2

ITEM	DENOMINACIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNIT. (\$)	TOTAL
1	Panel solar Monocristalino 75 Wp	18	546,20	9831,16
2	Acumuladores estacionarios 150 Ah/12V	9	740	6660
3	Controlador Morningstar PS-15	9	105,86	952,74
4	Inversor 12VDC a 120VCA 400W	9	268,24	2414,16
5	Luminaria LED LU2	9	450	4050
6	timer	9	45	405
7	Tubos estructurales ϕ 6"	9	120	1080
8	Tubos estructurales ϕ 2 1/2"	15	27,90	418,5
9	Tubos estructurales ϕ 1 1/2"	9	18	162
10	Ángulos laminados 25x25x3	14	10,18	142,52
11	Planchas de acero A36 550x550x6	9	70	630
12	Planchas de acero A36 300x300x4	9	45	405
13	Plancha	5	36	180
14	Electrodos (lb)	30	1,90	57
15	Cable AWG #13	450	1	450
16	Pintura (gal)	4	5,50	22
17	Thinner (gal)	2	17,56	35,12
18	Taype	10	1	10
			SUMA TOTAL	27905,2

- Sistema tradicional

TABLA 4.6 COSTO TOTAL DEL SISTEMA TRADICIONAL

ITEM	DENOMINACIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNIT. (\$)	TOTAL
1	Luminaria 100 W	9	123	1107
2	Lámpara de 100 W	9	32,50	292,50
3	Brazo para luminaria	9	20	180
4	Abrazadera	9	7	63
5	Poste de hormigón	10	200	2000
6	Cable dúplex	160	1,50	240
7	Transformador botella	1	1350	1350
8	Conectores de ranura paralela	2	3,20	6,4
9	Cable desnudo de Cu N° 4	10	3	30
10	Grapa de línea caliente	2	15	30
11	Barrilla de puesta a tierra con conector	1	10	10
			SUMA TOTAL	5308,9

Con el sistema tradicional se pagará del consumo:

Consumo diario: 5,744 kWh

Consumo en los 25 años: 52420,21 kWh

Se pagara por este consumo un monto de:

$$52420,21 \text{ kWh} \times \frac{0,08 \text{ dólares}}{\text{Kwh}} = 4193,62 \text{ dólares}$$

Ahora el costo real del sistema tradicional será la suma de los costos de equipos y el costo del kWh durante los 25 años.

$$\text{Costo total} = 5308,9 + 4193,62$$

$$\text{Costo total} = 9503 \text{ dólares}$$

La diferencia entre el costo total del sistema eléctrico tradicional con el sistemas eléctrico fotovoltaico es grande.

4.8 Ahorro energético

Si se usara el sistema eléctrico tradicional el consumo en 25 años será:

- En un día:

$$104.16 \text{ W} \times 9 \times 6 \text{ horas} = 5,625 \text{ kWh}$$

- En un año:

$$5,625 \text{ kWh} \times 365 = 2053,125 \text{ kWh}$$

- En 25 años:

$$2053,125 \text{ kWh} \times 25 = 51328,125 \text{ kWh}$$

4.9 Emisiones de CO2 evitados [44]

Factor de conversión: 0,495 kg CO2/kWh

$$51328,125 \text{ kWh} \times \frac{0,495 \text{ Kg CO}_2}{1 \text{ kWh}} \times \frac{1 \text{ Ton. CO}_2}{1000 \text{ Kg CO}_2} = 25,407 \text{ Toneladas de CO}_2$$

Con el sistema Fotovoltaico se ahorra un consumo de 51,32 MWh en 25 años, si se hablara de las emisiones de CO2 se evitara 25,407 Toneladas de CO2 en el mismo tiempo estimado.

CAPÍTULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES.

- Al estudiar la energía solar, por ende la insolación solar, se notó que la radiación solar llega a la tierra en grandes cantidades el mismo que no se está aprovechando en mayor parte, el uso de esta energía renovable ayudaría a mitigar los problemas ambientales que se viven en la actualidad ya que evitaría las emisiones de CO₂ hacia la atmosfera.
- El Ecuador así como muchos países que se encuentran en la línea ecuatorial, son privilegiados ya a la línea Ecuador llega mayor cantidad de radiación solar, En lo particular las ciudades Riobamba, Guayaquil, Quito y parte del oriente son los más beneficiados por esta energía gratuita y limpia.
- El diseño del sistema de alumbrado exterior de la Escuela en Ecoturismo se realizó en base a estudios de sistemas de alumbrado público, que se han venido aplicando según las normas correspondientes, los criterios y valores asumidos se basan a estudios profundos y recomendaciones de países desarrollados. Se tomo mucho en cuenta estos criterios ya que en nuestro país no existe aún una norma a la cual se debe respaldar estos criterios.
- En el diseño del sistema fotovoltaico se concluye que para cada latitud hay una inclinación óptima del panel solar, y para cada longitud hay un ángulo de azimut, y se determino que para sistemas fotovoltaicos autónomos fijos el ángulo de inclinación del panel varía según las estaciones del año.
- En el diseño de la estructura en donde se montó el sistema fotovoltaico autónomo, se rige a estándares de alturas de postes de alumbrado público, se realizó un breve análisis estructural, sin dejar a un lado la parte decorativa.

- Al realizar el respectivo análisis financiero del proyecto notamos que el tiempo que tarda en recuperar la inversión es superior al tiempo de vida útil del sistema, por lo tanto este proyecto desde el punto de vista financiero no es viable.

5.2 RECOMENDACIONES

- Una buena recomendación será el uso de luminarias led alimentados por corriente DC para así evitar el uso de un inversor mejorando la eficiencia del sistema y reduciendo los costos.
- Se recomienda el fomento del uso de esta energía alternativa para concientizar a las personas y optar por este tipo de energía renovable. Y algo mucho mejor que eso es tener en la facultad de Mecánica un club o grupo formado por profesores y estudiantes dedicados a investigaciones y desarrollo de este tipo de proyectos.
- Es aconsejable un mantenimiento preventivo periódico para así prolongar la vida útil de los componentes y el sistema fotovoltaico.
- Nunca se debe instalar estos sistemas fotovoltaicos donde pueda existir sombra ya sea de árboles o edificios.
- Para realizar un cálculo más preciso se recomienda utilizar un software de iluminación exterior, por ejemplo ILUMINET, y además se deberá tomar en cuenta la reflectancia del suelo, en este caso puede ser adoquín o asfalto, existen valores tabulados para cada uno de estos donde se lee y se hace su respectivo cálculo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. http://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n_solar
- [2]. <http://recuerdosdepondora.com/curiosidades/el-arcoiris-no-tiene-siete-colores/>
- [3]. <http://www.rena.edu.ve/cuartaEtapa/cienciasTierra/Tema6.html>
- [4]. <http://www.laneros.com/f149/radiacion-solar-ecuador-mas-alta-del-planeta-segun-estudio-local-139303/>
- [5]. http://www.bnamericas.com/news/energiaelectrica/Conelec_publica_atlas_solar
- [6]. **CORPORACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN ENERGÉTICA (CIE).** Atlas Solar del Ecuador. Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC). Quito: Documento pdf, 2008.
- [7]. http://www.esPOCH.edu.ec/Descargas/facultadlab/metereolo_cb804.pdf
- [8]. http://www.esPOCH.edu.ec/Descargas/facultadlab/metereolo_cb804.pdf
- [9]. <http://www.buenastareas.com/ensayos/Proyecto-De-Ahorro-De-Energia-Electrica/2304500.html>
- [10]. **BERMEO, L.** Eficiencia Energética: Análisis comparativo de los sistemas de fibra óptica utilizados para iluminación eficiente. Tesis de Grado. UTPL, Loja, 2009: cccccc

78-83.
- [11]. **ARMIJOS, J. BURI, S.** Análisis de tecnologías disponibles para el control lumínico eficiente. Tesis de Grado. UTPL, Loja, 2009:pág. 67-68
- [12]. http://www.un.org.ec/pages/interna_agencias.php?txtCodiInfo=20

- [13]. **PLAN NACIONAL DEL BUEN VIVIR.** Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES). Quito: Documento pdf, 2009.
- [14]. <http://www.tech4cdm.com/index.php/mod.pags/mem.detalle/relcategoria.215/id.48>
- [15]. http://www.energizaonline.com/es/index.php?option=com_content&view=article&id=cc65&Itemid=27&lang=es
- [16]. http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7556/AD_calculo_metodo_punto_por_punto.pdf
- [17]. **MONTIEL, K.** Iluminación. Documento público pdf. Universidad de Ciencias Comerciales. España, 2001.
- [18]. <http://es.scribd.com/doc/54167237/MODULO-UCC-ILUMINACION>
- [19]. <http://www.ives.edu.mx/bibliodigital/Arquitectura/PDF%20arq/Iluminacion/07.%20Luminarias.pdf>
- [20]. <http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap03.pdf>
- [21]. http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentación/ /201a300/ntp_211.pdf
- [22]. http://www.alumbradopublicobenito.com/pdf/r_efi_ener4_MANLLEU.pdf
- [23]. Departamento de Mantenimiento Físico ESPOCH
- [24]. <http://edison.upc.edu/curs/llum/lamparas/luminar1.html>
- [25]. <http://www.ives.edu.mx/bibliodigital/Arquitectura/PDF%20arq/Iluminacion/07.%20Luminarias.pdf>
- [26]. <http://edison.upc.edu/curs/llum/fotometria/graficos.html>

- [27]. **ILUMINACIÓN INTELEGENTE, G.** Manual de alumbrado público e iluminación exterior con led de alta intensidad, Colombia, 2008
- [28]. http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/adminverblobawa?tabla=T_NORMA_ARCHIVO&p_NORMFIL_ID=61&f_NORMFIL_FILE=X&inputfileext=NORMFILc cc_FILENAME
- [29]. <http://ies1cto.wikispaces.com/file/view/07.+Luminarias.pdf>
- [30]. <http://saecsaenergiasolar.com/fotovoltaico/introduccion/>
- [31]. http://www.iie.org.mx/proyctofotovoltaico/preg_14.html
- [32]. <http://www.ionapel.com>
- [33]. <http://www.sitiosolar.com>
- [34]. <http://soysustentable.com/InversoresInterconexion.aspx>
- [35]. <http://spanish.alibaba.com/>
- [36]. http://es.wikipedia.org/wiki/Hora_solar_pico
- [37]. **CHUQUÍN, N.** Diseño, construcción y pruebas de un sistema publicitario alimentado con energía solar, y controlado con un relé inteligente (ZELIO). Tesis de Grado. ESPOCH, Riobamba, 2011:pág. 70-90.
- [38]. http://www.hmsistemas.es/shop/catalog/calculadora_seccion.php?osCsid=08ac5600afe7f2395ed36b937af5721d
- [39]. <http://es.wikipedia.org/wiki/AWG>
- [40]. <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=799304&page=2>

- [41]. <http://es.hedasolar.com/pid66995/Las+luces+solares+del+partio+HDS-T2086.htm>
- [42]. http://sustentacorp.com/?page_id=95
- [43]. <http://www.energiasverdes.com/preguntas-frecuentes/que-mantenimiento-requiere-un-sistema-fotovoltaico.html>
- [44]. http://www.planetseed.com/es/posted_faq/50031

BIBLIOGRAFÍA

- ARMIJOS, J.** Análisis de Tecnologías Disponibles para el Control Lumínico Eficiente. Tesis de Grado. UTPL, Loja, 2009.
- ALVARADO, E.** Sistemas Fotovoltaicos para iluminación en 12V. Documento público. Loja: UTPL, 2010.
- BERMEO, L.** Eficiencia Energética: Análisis comparativo de los Sistemas de Fibra Óptica Utilizados para Iluminación Eficiente. Tesis de Grado. UTPL, Loja, 2009.
- CORPORACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN ENERGÉTICA (CIE).** Atlas Solar del Ecuador. Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC). Quito: Documento pdf, 2008.
- CHUQUÍN, N.** Diseño, construcción y pruebas de un sistema publicitario alimentado con energía solar, y controlado con un relé inteligente (ZELIO). Tesis de Grado. ESPOCH, Riobamba, 2011.
- ILUMINACIÓN INTELEGENTE, G.** Manual de Alumbrado Público e Iluminación Exterior con Led de Alta Intensidad, Colombia, 2008
- MONTIEL, K.** Iluminación. Documento público pdf. Universidad de Ciencias Comerciales. España, 2001
- OÑATE, D.** Diseño de una Instalación Solar Fotovoltaica. Documento público. España: 2006.
- PLAN NACIONAL DEL BUEN VIVIR.** Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES). Quito: Documento pdf, 2009.

PEREJA APARICIO, M. Energía Solar Fotovoltaica: Cálculo de una Instalación Aislada. Madrid: Marcombo, 2010

SÁNCHEZ, S. ENERGÍAS RENOVABLES: Conceptos y Aplicaciones. Documento público (pdf). Fundación Natura. Quito: 2003.

LINKOGRAFÍA

POSICIÓN GEOGRÁFICA DE RIOBAMBA:

<http://www.googleearth.es/>

2011-06-18

SELECCIÓN DE COMPONENTES DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO:

<http://www.solarweb.net/forosolar/fotovoltaica-sistemas-aislados-la-red/calculo-seccion-cables-cc>

2011-08-30

SECCIÓN DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS:

http://www.hmsistemas.es/shop/catalog/calculadora_seccion.php?osCsid=08ac5600afe7f2395ed36b937af5721d

2011-09-18

RENDIMIENTO GLOBAL DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

http://www.diegoñate.es/diseño_de_una_instación_solar_fotovoltaica//

2011-09-23

DISTRIBUIDORES DE PANELES SOLARES EN ECUADOR:

<http://www.proviento.com.ec/index.html>

2011-10-05

ENERGÍA CON RECURSOS RENOVABLES, INFORMACIÓN:

http://www.ciner.org/index.php?permalink=censolar_1249

2011-11-02

REGLAMENTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA ECUADOR

<http://www.conelec.gov.ec>

2011-11-20

COSTO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN ECUADOR

<http://www.meer.gov.ec>

2011-11-23