

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico

**REDISEÑO DEL ALUMBRADO ORNAMENTAL EN EL PARQUE DE LA
PARROQUIA SAN JOSÉ DE QUICHINCHE INCLUYENDO EL ESTUDIO DE LA
APLICACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA REDUCIR LA CARGA EN
HORAS PICO**

Trabajo de grado presentado ante la Universidad Técnica del Norte previo a
la obtención del título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico

Autor:

Jean Carlos Martínez Pasquel

Director:

MBA. Flores Haro Ramiro Franklin

Ibarra – Ecuador

2021



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003341326		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Martínez Pasquel Jean Carlos		
DIRECCIÓN:	Ibarra, Urbanización Adiros 2, casa 70		
EMAIL:	jcmartinezp@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	_____	TELÉFONO MÓVIL:	0992542031

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	REDISEÑO DE ALUMBRADO ORNAMENTAL EN EL PARQUE DE LA PARROQUIA SAN JOSÉ DE QUICHINCHE INCLUYENDO EL ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA REDUCIR LA CARGA EN HORAS PICO
AUTOR (ES):	Martínez Pasquel Jean Carlos
FECHA: DD/MM/AAAA	13/09/2021
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico
ASESOR /DIRECTOR:	MBA. Flores Haro Ramiro Franklin

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 13 días del mes de septiembre de 2021

EL AUTOR.

Jean Carlos Martínez Pasquel



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas

Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

Ing. Flores Haro Ramiro Franklin **MBA**

Director de Trabajo de Grado

Universidad Técnica del Norte

Por medio de la presente, en mi calidad de director del trabajo de grado titulado "REDISEÑO DE ALUMBRADO ORNAMENTAL EN EL PARQUE DE LA PARROQUIA SAN JOSÉ DE QUICHINCHE INCLUYENDO EL ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA REDUCIR LA CARGA EN HORAS PICO", certifico que el presente trabajo de grado fue realizado en tu totalidad por el Sr. Estudiante: Jean Carlos Martínez Pasquel, bajo mi supervisión. Para la obtención del título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico.

Ramiro
Flores Haro

Firmado
digitalmente por
Ramiro Flores Haro

Fecha: 2021.09.28

11:14:55 -05'00'

Ing. Flores Haro Ramiro Franklin MBA.

Director de Trabajo de Grado

DEDICATORIA

A mi persona,

Por demostrarme a mí mismo que puedo lograr lo que me proponga, por mi fortaleza, paciencia y perseverancia de afrontar los momentos más difíciles de mi vida.

A mis tíos, Edmundo Martínez y Moraima Arias

Por aceptarme en su hogar, por inculcarme que el trabajo duro tiene su recompensa, por infundirme valores para ser un hombre honorable, por su incomparable amparable amor.

A mi padre, Patricio Martínez

Que estuvo a mi lado en estos años de preparación profesional, con su amor, paciencia y apoyo que sin importar las situaciones siempre estuvo junto a mí.

A mi hermana y hermano, Belen, David

Que estuvieron presentes durante mi preparación profesional, animándome a que no me rindiera, que su confianza, y el cariño que nos une se refleje en mí un ejemplo a seguir.

Jean Martínez

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Técnica del Norte, la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas por abrirme las puertas a sus centros de enseñanza y a todo el cuerpo de docentes de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico por compartir sus conocimientos aportando en mi un grano de arena en mi formación profesional.

Un agradecimiento especial al Ing. Diego Vásquez, gerente de la empresa VF. Electric por ayudarme con el tema de tesis y confiar en mi para realizarla.

Agradezco de manera especial a mi director el Ing. Franklin Flores MBA, por su paciencia, amistad y guía en la realización del presente trabajo de grado, que me ha compartido su apoyo y conocimiento de manera incondicional, por sus palabras de motivación inculcando en mi un ejemplo a seguir.

A mi tío Edmundo y tía Moraima, a mi padre que siempre han sido mi mayor orgullo, por su apoyo económico, moral y ético en todo momento de mi vida estudiantil, y finalmente por la unión como familia que me ha permitido afrontar todos los obstáculos que se me han presentado logrando alcanzar una meta más en mi formación académica.

A los docentes, amigos, compañeros y compañeras de clase por compartir momentos inolvidables, tanto dentro y fuera de las aulas en los buenos y malos momentos.

Jean Martínez

TABLA DE CONTENIDOS

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN.....	ii
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.....	ii
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO	iv
AGRADECIMIENTOS	vi
Índice de figuras.....	x
Índice de Tablas.....	xi
Resumen.....	xiv
Abstract.....	xv
Introducción.....	xvi
A1. Contextualización.....	xvi
A2. Planteamiento del problema.....	xvii
A3. Formulación del problema.....	xviii
A4. Justificación-detalle del impacto.....	xviii
A5. Alcance	xviii
A6. Objetivo general	xix
A7. Objetivos específicos	xix
CAPÍTULO 1	1
1 Alumbrado público y sistema fotovoltaico	1
1.1 Marco legal	1
1.1.1 Constitución de la República del Ecuador	1
1.1.2 Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica	2
1.1.3 Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables	2
1.1.4 Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables	3
1.1.5 Empresas Eléctricas de Distribución, Gobiernos Autónomos Descentralizados.....	3

1.2	Diseño del alumbrado público	4
1.2.1	Clasificación del alumbrado público	4
1.2.2	Objetivos del alumbrado público	4
1.2.3	Lámparas y luminarias usadas en alumbrado público	5
1.3	Sistemas de generación fotovoltaica.....	5
1.3.1	Principio para la generación solar fotovoltaica.....	6
1.4	Tipos de instalaciones de generación fotovoltaicas.....	8
1.4.1	Tecnología usada en sistemas fotovoltaicos	8
1.4.2	Estudios previos para la aplicación de alumbrado público con energía fotovoltaica	12
1.5	Sistemas fotovoltaicos aplicados en alumbrado público	13
1.5.1	Sistemas fotovoltaicos aislados de la red aplicados en alumbrado público	13
1.5.2	Sistemas fotovoltaicos conectados a la red aplicados en el alumbrado público	14
1.5.3	Casos reales de iluminación fotovoltaica.....	16
CAPÍTULO 2		17
2	Rediseño del parque con el sistema fotovoltaico	17
2.1	Introducción	17
2.2	Descripción del lugar de estudio	18
2.3	Metodología	18
2.4	Rediseño del alumbrado ornamental.....	27
2.5	Dimensionamiento del sistema de fotovoltaico.....	30
2.6	Selección de los componentes del sistema fotovoltaico	34
2.6.1	Selección del panel fotovoltaico	34
2.6.2	Selección del acumulador	35
2.6.3	Selección del controlador carga	35
2.6.4	Selección del Inversor.....	36

2.6.5	Selección de las protecciones	37
2.7	Diseño del sistema fotovoltaico	37
2.7.1	Esquema eléctrico del sistema de iluminación fotovoltaico	37
2.7.2	Selección del poste de alumbrado público	37
2.7.3	Anclaje de poste.....	38
2.8	Diseño hacia la red de distribución de baja tensión.....	39
2.8.1	Dimensionamiento del conductor hacia la red de distribución	39
2.8.2	Diseño del sistema de alumbrado ornamental con sistema fotovoltaico y la red	41
CAPÍTULO 3		41
3	Estudio económico de la implementación del generador fotovoltaico en el alumbrado ornamental	41
3.1	Metodología del análisis económico.....	41
3.2	Formulación matemática para la viabilidad del proyecto	42
3.2.1	Valor actual neto	42
3.2.2	Tasa interna de rentabilidad	42
3.2.3	Periodo de recuperación	43
3.3	Energía resultante.....	43
3.4	Ahorro de energía Anual	43
3.5	Viabilidad ambiental	44
3.6	Estudio técnico económico.....	44
3.6.1	Inversión del sistema fotovoltaico.....	44
3.6.2	Análisis de ahorro de energía.....	45
3.7	Factibilidad Económica	47
3.7.1	Factibilidad técnica.....	48
3.8	Análisis de viabilidad ambiental.....	49
3.9	Viabilidad económica – ambiental	49
Conclusiones.....		50

Recomendaciones.....	51
Lista de referencias	51
Anexos	59
Anexo A: Tablas de la regulación ARCERNNR 006/20	59
Anexo B: Cálculos de iluminación en DIALux	62
Anexo C: Fichas técnicas de los equipos seleccionados.	64
Anexo D: Diagrama del sistema fotovoltaico autónomo.....	66
Anexo E: Simulación de sistema fotovoltaico autónomo, con un panel policristalino.	67
Anexo F: Circuito de fuerza y control del alumbrado ornamental.....	71
Anexo G: Diagrama unifilar del alumbrado ornamental y sistema fotovoltaico conectados a la red de distribución.....	72

Índice de figuras

Fig. 1 Distribución de radiación en Ecuador	7
Fig. 2 Constitución general de un sistema de generación fotovoltaico	8
Fig. 3 Sistema fotovoltaico para luminaria led	13
Fig. 4 Componentes básicos de una planta fotovoltaica para iluminación externa	13
Fig. 5 Sistema de iluminación LED con sistema fotovoltaico	14
Fig. 6 Sistema de energía solar en alumbrado público como una planta de energía dispersa	14
Fig. 7 Luminaria LED con sistema fotovoltaico híbrido	15
Fig. 8 Diagrama de bloques del sistema	16
Fig. 9 Esta planta de energía solar suministra iluminación autónoma al túnel Santa Rosa vía Dosquebradas.....	16
Fig. 10 Primer alumbrado público alimentado con generación fotovoltaica en la Argentina. 17	
Fig. 11 Metodología a usar	19

Fig. 12 En la parte de la izquierda es el atlas solar con la insolación directa, global y difusa; en la parte derecha se encuentra el mapa solar de Ecuador con irradiación solar global, directa y difusa.	20
Fig. 13 Plano de la Parroquia San José de Quichinche.....	28
Fig. 14 En la parte superior se muestra el diseño 3D realizado en AutoCAD y en la parte inferior se encuentra el diseño en DIALux	29
Fig. 15 Luminaria ubicada a 10m de altura, obtenida de los datos de DIALux	29
Fig. 16 Luminaria ubicada a 5m de altura, obtenida de los datos de DIALux	30
Fig. 17 Panel Solar Policristalino.....	34
Fig. 18 Acumulador de 200 AH	35
Fig. 19 Controlador de Carga Binen.....	36
Fig. 20 Inversor de 375 VA.....	36
Fig. 21 Cimentación para postes metálicos.....	38
Fig. 22 Diseño de poste con módulo fotovoltaico, vista lateral derecha, vista lateral izquierda, vista personalizada.....	38
Fig. 23 Diseño del Parque de Quichinche con el sistema Fotovoltaico.....	39
Fig. 24 Pliego tarifario	46

Índice de Tablas

TABLA 1.1 Artículos de la LOSPEE que intervienen en el alumbrado.....	2
TABLA 1.2 Competencias de los Gobiernos Autónomos Descentralizados y las Empresas Eléctricas	3
TABLA 1.3 Comparación entre las características de luminarias	5
TABLA 1.4 Ventajas y desventajas de los tipos de paneles solares.....	9
TABLA 1.5 Tipos de baterías de plomo, ventajas y desventajas	10
TABLA 1.6 Baterías de níquel, ventajas y desventajas	11
TABLA 1.7 Descripción de los tipos de inversores, con sus ventajas y desventajas.	12
TABLA 2.1 Ubicación geográfica del parque de San José de Quichinche.....	18
TABLA 2.2 Datos de insolación por parte del CONELEC.....	20

TABLA 2.3 Datos obtenidos de la Nasa	21
TABLA 2.4 Valores recomendados de caída de tensión	25
TABLA 2.5 Descripción de los parámetros fotométricos.....	27
TABLA 2.6. Consumo diario de las luminarias	31
TABLA 2.7 Calibre del cable para el sistema fotovoltaico	33
TABLA 2.8 Comparación de los elementos calculados con el simulado.....	33
TABLA 2.9 Comparación de los elementos calculados con el simulado.....	33
TABLA 2.10 Parámetros técnicos del panel fotovoltaico	34
TABLA 2.11 Características de la batería netion.....	35
TABLA 2.12 Características del controlador de carga	36
TABLA 2.13 Características eléctricas del inversor de 375 VA	37
TABLA 2.14 Características de los postes metálicos	38
TABLA 2.15 Carga del parque por circuitos	40
TABLA 2.16 Corriente que tiene cada circuito.....	40
TABLA 2.17 Sección del cable por circuitos.....	40
TABLA 2.18 Cálculo de la caída de tensión	41
TABLA 3.1 Costo del alumbrado ornamental con el sistema fotovoltaico	45
TABLA 3.2 Energía al mes, alumbrado ornamental común.....	46
TABLA 3.3 Energía al mes alumbrado ornamental con apoyo del sistema fotovoltaico.....	46
TABLA 3.4 Comparación del costo de la energía entre los dos sistemas.....	47
TABLA 3.5 Rentabilidad del proyecto.....	48
TABLA 3.6 Factibilidad económico-ambiental	50
TABLA A 1 Clases de alumbrado para diferentes tipos de vías publicas.....	59
TABLA A 2 Luminancia de calzada para tráfico motorizado	60
TABLA A 3 Valores mínimos de iluminación promedio (lx) en vías motorizadas que se deben mantener.....	60
TABLA A 4 Características de la superficie.....	60

TABLA A 5 Clases de iluminación para diferentes tipos de vías en áreas peatonales y ciclistas	60
TABLA A 6 Requisitos mínimos de iluminación para tráfico peatonal.....	61

Resumen

El presente trabajo tiene como principio el fomentar la generación de electricidad por medio de la energía entregada por el sol. Para ello se planteó el rediseño del parque San José de Quichinche, con la aplicación de sistemas fotovoltaicos que reduzcan la carga en horas pico, ya que estos representan el 6 % de las cargas a nivel nacional; por lo que es necesario hacer el estudio de los diferentes equipos tecnológicos aplicados en el sistema fotovoltaico, los cuales se encuentran en el Capítulo 1. Se requirió, además, de fuentes de información pertenecientes al área de estudio como la irradiación solar, las horas pico, orientación, entre otras. Para empezar con el diseño que está en el Capítulo 2, primero se determinó la carga que debe suplir el sistema fotovoltaico; para ello, se realizó en DIALux el rediseño del alumbrado ornamental, estableciendo una carga diaria de 870.592 Wh/día, y considerando que la radiación promedio de este lugar es de 4.62 kWh/m²/día; con ello, se dimensionaron los equipos del sistema fotovoltaico, complementándolos con el de simulación del sistema en PVsyst, donde se obtuvieron valores similares a los calculados. Se realizó la selección de cada uno de los componentes del sistema fotovoltaico; utilizando AutoCAD, se obtuvo el diagrama unifilar del sistema fotovoltaico autónomo y la conexión a la red de distribución de bajo voltaje. Con el objetivo de establecer y comprobar si el sistema se puede implementar, se obtuvo que a pesar de que el mismo representa una inversión considerable, este aporta un ahorro de energía 239.04 kWh/mes, además por la viabilidad ambiental el sistema reduce 1850.17 toneladas de CO₂ al año.

Palabras claves: Alumbrado ornamental, baterías, controlador de carga, inversores, mapas solares, panel solar, sistemas fotovoltaicos.

Abstract

The principle of this work is to promote the generation of electricity through the energy delivered by the sun. For this, the redesign of San José de Quichinche park was proposed, with the application of photovoltaic systems that reduce the load at rush hours, they represent 6% of the loads nationwide; Therefore, it is necessary to study the different technological equipment applied in the photovoltaic system, which are found in Chapter 1. It also needs information sources belonging to the study area such as solar irradiation, rush hours, orientation, among others. To start with the design that that we can find in Chapter 2, first the load that the photovoltaic system must supply was determined; for this, the redesign of the ornamental lighting was made in DIALux, establishing a daily load of 870,592 Wh/día, and considering that the average radiation of this place is $4.62 \text{ kWh} / \text{m}^2 / \text{día}$; with this, the photovoltaic system equipment was dimensioned, complementing them with the simulation of the system in PVsyst, where values similar to those calculated were obtained. The selection of each component of the photovoltaic system was made; using AutoCAD, the one-line diagram of the autonomous photovoltaic system and the connection to the low-voltage distribution network were obtained. In order to establish and check if the system can be implemented, we realize that it represents a considerable investment but it provides an energy saving of 239.04 kWh/month, in addition to environmental viability the system reduces 1850.17 tons of CO₂ per year.

Keywords: Ornamental lighting, batteries, charge controller, inverters, solar maps, solar panel, photovoltaic systems.

Introducción

A1. Contextualización

Desde la invención de la electricidad y utilización en instalaciones, residenciales, comerciales, industriales, también ha sido de gran utilidad para la iluminación de ambientes nocturnos.

En la actualidad el alumbrado público es una necesidad de toda ciudad, en especial en los parques, debido a que estos lugares suelen ser preferidos por las familias, por ello se busca tener sistemas de iluminación más económicos y amigables con el medio ambiente. Además, cuando se diseña un proyecto de este tipo, no solo se debe hacer para mejorar el paisajismo estético, sino se debe realizar el estudio de las luminarias a utilizar para que cumplan con los parámetros establecidos en las normas. (Supra, 2018)

En Estados Unidos, el consumo eléctrico en iluminación representa el 15% del consumo total de electricidad, en cambio en España el alumbrado público representa el 10% del total de energía consumida. (Vargas et al., 2017)

El consumo de electricidad destinada para iluminación es del 15 % a nivel mundial y produce el 5 % de las emisiones de 5 % de gases efecto invernadero (Programa de las Naciones Unidas para el medio Ambiente, 2016).

El Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables (MERNNR) dice que en Ecuador el alumbrado público representa aproximadamente el 6% del consumo a nivel nacional. (MERNNR, s. f.)

Para que estos sistemas sean amigables con el ambiente y permitan tener una buena iluminación de áreas verdes o de vías, existen parámetros eléctricos que se deben cumplir, para lo cual cada país tiene designada una entidad de regulación, entre las principales se tiene: la Comisión Internacional de Iluminación (CIE siglas en francés); la Sociedad Norteamericana en Ingeniería en Iluminación y Colores; la Comisión Electrotécnica Internacional; la Asociación Española de Normalización y Certificación, la Asociación Argentina de Luminotecnia (AADL) y el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (INCOTEC). (Bravo & Rendón, 2015)

Las especificaciones técnicas del alumbrado en Ecuador son descritas por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovable (ARCERNNR) en su Resolución Nro. ARCERNNR-029/20 y regulación Nro. ARCERNNR 006/20. (ARCERNNR 006-20, 2020)

Esto ha permitido que existan cambios en el uso de luminarias, ya que anteriormente se utilizaba vapor de sodio de alta presión y vapor de mercurio; pero estudios revelaron que es una tecnología ineficiente y contaminante que está siendo remplazada por luminarias que emplean tecnología LED. (Pulla, 2013)

Entre los estudios realizados se contempla el mejoramiento económico del alumbrado público; es por ello que las universidades del Ecuador han empezado a incursionar en la optimización de iluminación conforme a la normativa RTE INEN 069; en este estudio se determina la altura de las luminarias para un mejor rendimiento de estas. (Mora, 2018)

Actualmente existen investigaciones sobre la factibilidad del uso de sistemas fotovoltaicos en el alumbrado público y Ecuador no es la excepción; el objetivo de estos sistemas es el ahorro económico, reduciendo el consumo energético y consecuentemente la reducción de emisiones de CO₂; estos sistemas son eficientes en comparación a los tradicionales y se plantea como una solución al excesivo consumo energético que representa el alumbrado público. (Flores, 2016); (Vargas et al., 2015)

Debido a que el alumbrado público es encendido en las noches cuando el sistema es propenso a tener una alta demanda de energía, una forma de aliviar a la red es utilizar sistemas fotovoltaicos implementados en horas pico; además que esto permite una reducción del tamaño del panel solar y del banco de baterías, disminuyendo el costo del sistema. (Mineiro Sá Junior et al., 2007)

A2. Planteamiento del problema

El parque de la parroquia Quichinche tiene 2514 m² y dispone del sistema de alumbrado público que consta de cuatro postes de concreto de 9m de alto, cada uno con su luminaria de vapor de sodio de 150 w, la cual es conectada con cables aéreos. Estas características hacen que el sistema no cumpla con la regulación del Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables (MERNNR); por lo tanto, se debe realizar el reemplazo de cables aéreos por conductores soterrados y la adecuación de iluminación de parques y vías descrita por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR) en la resolución 029/2020 y regulación 006/20, ya que la iluminación es insuficiente, por el hecho de que la potencia en las luminarias es baja, en función del área del parque que consta de espacios verdes y caminos peatonales.

Según se mencionó, en Ecuador el alumbrado público representa un 6% de la carga de la red y, como este se conecta en la tarde, aumenta la carga en las horas pico, haciendo necesario el estudio de sistemas fotovoltaicos como medio para reducir la carga en ese periodo de tiempo.

A3. Formulación del problema

¿Qué se debe contemplar para el rediseño de alumbrado ornamental en el parque de la parroquia Quichinche y el estudio para la aplicación de un sistema fotovoltaico con la finalidad de reducir la carga en horas pico?

A4. Justificación-detalle del impacto

El Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables (MERNNR), en su Acuerdo Ministerial N° 211, impulsa la normalización del diseño y construcción de nuevas redes de distribución subterráneas o el soterramiento de líneas existentes en vías o parques.

El plan de desarrollo 2017-2021, en su objetivo 3, garantiza los derechos de la naturaleza para actuales y futuras generaciones; además, busca reducir la dependencia de energía fósil para evitar emisiones que ocasionan el cambio climático. Debido a esto, en el plan se contempla apoyar y promover las buenas prácticas que reduzcan la contaminación y aporten a la conservación del medio ambiente.

Por la ubicación geográfica del país, los sistemas fotovoltaicos pueden ser implementados, ya que reciben la radiación solar constante durante todo el año, con pequeñas variaciones en las estaciones lluviosas.

El presente trabajo proporcionará información necesaria para realizar la construcción del alumbrado público en el parque anteriormente citado, estableciendo los procedimientos que servirán de guía a las empresas constructoras de redes eléctricas, junto con el estudio del sistema fotovoltaico que puede ser implementado en la posteridad, para la reducción del consumo del alumbrado público.

A5. Alcance

La presente tesis constará del rediseño del alumbrado del parque de la parroquia San José de Quichinche que tiene como ubicación geográfica: latitud 0.23686 y longitud -78.28879, contemplando la iluminación de las calles Bolívar, Víctor Jara, Sucre y J. N. Guzmán que son perimetrales al parque.

Además, se contempla el estudio del recurso solar y se pretende diseñar un sistema fotovoltaico que sea autónomo en el periodo de las horas pico que van desde las 18:00 a 22:00. Con estos datos se realiza el cálculo de baterías, controlador de carga, inversor,

protecciones u otros elementos que contenga el sistema fotovoltaico. Después del periodo de cuatro horas el sistema se conectará a la red de distribución de bajo voltaje.

Finalmente se elabora el estudio económico que conllevaría a la aplicación del sistema fotovoltaico.

A6. Objetivo general

Realizar el rediseño del alumbrado público en el parque de la parroquia Quichinche y el estudio de un sistema fotovoltaico, utilizando la metodología investigativa en energías renovables, para reducir la carga de la red eléctrica en horas pico y propiciar el mejoramiento de su iluminación.

A7. Objetivos específicos

1. Realizar el estudio comparativo de tecnologías de generación fotovoltaicas con conexión a la red para alumbrado público.
2. Realizar el rediseño del alumbrado del parque, conjuntamente con el estudio del recurso solar, para el diseño del sistema fotovoltaico que se ajuste a las cargas.
3. Realizar el estudio técnico económico, para la implementación del alumbrado público con el sistema fotovoltaico.

CAPÍTULO 1

1 Alumbrado público y sistema fotovoltaico

En el capítulo uno, antes de revisar los parámetros y tecnologías que utiliza la generación fotovoltaica, se debe conocer el marco legal, los criterios de diseño en el alumbrado público, así como la clasificación y objetivos de dicho alumbrado. Luego se describen los parámetros que influyen en la generación de sistemas fotovoltaicos y la tecnología que necesitan para funcionar en alumbrado público y en la red eléctrica de distribución de bajo voltaje.

1.1 Marco legal

Dentro de las leyes, reglamentos y regulaciones que rigen al sistema eléctrico se encuentran:

- a) Constitución de la Republica de Ecuador
- b) Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica
- c) Reglamento General a la Ley Orgánica del Servicio Público
- d) Regulación Nro. ARCERNNR 006/20

Dentro de las entidades, que se rigen a los anteriores, leyes, reglamentos y regulaciones se encuentran

- a) Asamblea Nacional
- a) Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables
- b) Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables
- c) Empresas Eléctricas de Distribución
- d) Gobiernos Autónomos Descentralizados

1.1.1 Constitución de la República del Ecuador

En materia de electricidad, en la Constitución consta el artículo 314. En el primer inciso establece que:

- a) “El Estado será responsable de la provisión de los servicios públicos de agua potable y de riego, saneamiento, energía eléctrica, telecomunicaciones, vialidad, infraestructuras

portuarias y aeroportuarias, y los demás que determine la ley”. (ASAMBLEA NACIONAL, 2008).

En el segundo inciso consta:

b) “El Estado garantizará que los servicios públicos y su provisión respondan a los principios de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, eficiencia, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad y calidad”. (ASAMBLEA NACIONAL, 2008).

1.1.2 Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica

La Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (LOSPEE) regula la participación de los sectores público y privado en actividades relacionadas con el servicio de energía eléctrica. Entre los artículos que intervienen en la energía eléctrica se encuentran en la TABLA 1.1:

TABLA 1.1 Artículos de la LOSPEE que intervienen en el alumbrado

Artículo	Descripción
Artículo 4, numeral 7	Es derecho de los consumidores, contar con el alumbrado público en las vías públicas en función de las regulaciones de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR)
Artículo 7, 2 ^{do} inciso	La prestación del servicio público de energía eléctrica y de alumbrado público, será realizada por el gobierno central, a través de empresas públicas o mixtas.
Artículo 62, 1 ^{er} inciso	El Estado, a través de las empresas públicas de distribución, será responsable de la construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de alumbrado público general.
Artículo 62, 2 ^{do} inciso	Dispone que la construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de alumbrado público ornamental e intervenido será responsabilidad de los gobiernos autónomos descentralizados (GAD).
Artículo 62, 3 ^{er} inciso	Estipula que el ARCERNNR regulará los aspectos técnicos, económicos, tarifarios y de calidad del alumbrado público general para la prestación de un servicio eficiente,

Fuente: (Tribunal Constitucional de la República del Ecuador, 2015)

Elaborado: El Autor

En la TABLA 1.1 se observa que la LOSPEE designa diferentes responsabilidades a las entidades que intervienen en el alumbrado público, general o intervenido; por ejemplo, la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR) es la responsable de realizar las resoluciones y regulaciones para dichos sistemas de iluminación.

1.1.3 Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables

La Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR) es la encargada de regular y controlar las actividades hidrocarburíferas, mineras y eléctricas, en todas sus fases. En la presente tesis se acudirá a la regulación

ARCERNNR 006/20 que sirve para el rediseño de iluminación del parque contemplado en el capítulo 2.

1.1.4 Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables

Entre las atribuciones que tiene el Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables (MERNNR) constan que debe formular políticas y estrategias para la generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica, así como de eficiencia energética. Una de las reglamentaciones vigentes es la homologación de la unidad de propiedad (UP) y las unidades de construcción (UC) del sistema de distribución eléctrica. (MERNNR, 2019)

- a) Unidades de propiedad (UP): son un conjunto de bienes diferentes entre sí y asociados para cumplir una función específica en los sistemas de distribución de energía eléctrica que abarcan a las diferentes unidades de construcción. (MERNNR, 2019)
- b) Unidades de construcción (UC): son el conjunto de materiales dispuestos de forma que facilitan el diseño, construcción, operación y mantenimiento de instalaciones eléctricas de distribución, de manera sencilla, ordenada y uniforme. (MERNNR, 2019)

1.1.5 Empresas Eléctricas de Distribución, Gobiernos Autónomos Descentralizados

Entre las competencias que tienen las Empresas Eléctricas de Distribución (EED) y los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) se presentan en la TABLA 1.2

TABLA 1.2 Competencias de los Gobiernos Autónomos Descentralizados y las Empresas Eléctricas

Competencias de los GAD	Empresas Eléctricas de distribución (EED)
a) Previo a la instalación de los sistemas de alumbrado público general, ornamental y/o intervenido, coordinar con las Empresas Eléctricas de Distribución (EED), la aprobación de los diseños y el suministro de servicio de energía eléctrica.	a) Cumplir con los parámetros técnicos establecidos en la presente regulación ARCERNNR 006/20
b) Planificar, construir, operar y mantener los sistemas de alumbrado público ornamental e intervenido y, de ser el caso, los sistemas de seguridad ciudadana.	b) Mantener actualizada la base de datos de los activos del alumbrado público general; georreferenciar las luminarias del alumbrado público intervenido, ornamental y medidores, mediante el Sistema de Información Geográfica (SIG).
c) Desarrollar los estudios técnicos y las obras de alumbrado público general, ornamental y/o intervenido, en nuevas vías o ampliación de las existentes que se encuentran a cargo del GAD.	c) Suscribir los convenios que considere pertinentes con los GAD o entidades competentes, para realizar el mantenimiento del alumbrado intervenido u ornamental. Los costos del mantenimiento correrán a cargo del GAD o entidad estatal competente.
d) Reportar a las Empresas Eléctricas distribuidoras los planos eléctricos georreferenciados, diagramas eléctricos, especificaciones técnicas y número de luminarias utilizadas en espacios públicos bajo su competencia.	d) Revisar y aprobar los estudios y diseños de los sistemas de alumbrado público intervenido, ornamental, semaforización y seguridad ciudadana.

Fuente: (ARCERNNR 006-20, 2020)
Elaborado: El Autor

Como se aprecia en la TABLA 1.2 las dos entidades deben trabajar conjuntamente para que el sistema de alumbrado público esté actualizado con las regulaciones vigentes.

1.2 Diseño del alumbrado público

El alumbrado público es el servicio que se encarga de la iluminación de vías públicas, parques y otros espacios de libre circulación. Su función principal es la de proporcionar la visibilidad necesaria para el desarrollo de todo tipo de actividades (Baños & Pizarro, 2019).

1.2.1 Clasificación del alumbrado público

De acuerdo con la regulación (ARCERNNR 006-20, 2020), el alumbrado público se clasifica en: alumbrado público general, alumbrado público ornamental y alumbrado público intervenido.

- a) Alumbrado público general: es la iluminación establecida de las vías públicas y el tránsito de personas y/o vehículos (ARCERNNR 006-20, 2020).
- b) Alumbrado público ornamental: dentro de este tipo de iluminación se contempla áreas públicas como: plazas, espacios deportivos abiertos, parques, los cuales difieren con los niveles establecidos por la regulación para alumbrado público (ARCERNNR 006-20, 2020).
- c) Alumbrado público intervenido: Para este tipo de iluminación, los gobiernos autónomos descentralizados (GAD) requieren diferentes niveles de iluminación o de una infraestructura distinta a los estándares establecidos (ARCERNNR 006-20, 2020).

Según la clasificación anterior, el rediseño del alumbrado para parques se contempla como alumbrado público ornamental.

1.2.2 Objetivos del alumbrado público

El sistema de alumbrado público debe cumplir tanto aspectos cuantitativos como cualitativos que tengan una confortable visibilidad en las condiciones ambientales más adversas; para ello debe cumplir los siguientes objetivos (Baños & Pizarro, 2019):

- a) Proporcionar a los transeúntes una clara visibilidad de bordes, obstáculos.
- b) Disminuir las acciones vandálicas.
- c) El sistema de iluminación debe ser eficiente, con fácil mantenimiento y que sea económico.

En el caso de la iluminación para el parque debe tener la necesaria para contemplar el diseño arquitectónico del mismo, proporcionando al transeúnte un ambiente agradable en el que se pueda estar a gusto; el alumbrado debe ser eficiente y económico, en el sentido que no represente un gasto significativo para el Estado y el mantenimiento debe ser fácil de realizar, para que el sistema funcione mayor tiempo de lo estipulado.

1.2.3 Lámparas y luminarias usadas en alumbrado público

El método normalmente utilizado para la creación de iluminación general es la conversión de energía eléctrica en energía lumínica. Las lámparas que se utilizan en el alumbrado se diferencian básicamente por el grado de eficiencia, la tecnología y material usado para la fabricación y se clasifican en: incandescentes, de descarga, de inducción electromagnética, Leds (LIGHT EMITTING DIODE). (Vargas, 2015)

Las luminarias son dispositivos que distribuyen, filtran o transforman la luz emitida por las lámparas, sirven para dar la dirección deseada al flujo emitido por la fuente; en la TABLA 1.3 se muestran las características de algunas luminarias. TABLA 1.3

TABLA 1.3 Comparación entre las características de luminarias

Tipo de luminaria	Eficiencia luminosa (lm/w)	Vida de las luminarias en horas	Características
Vapor de mercurio de alta presión	36-65	10000-15000	Gran consumo de energía, luminaria de poca duración.
Haluro de metal	70-130	8000-12000	Luminaria de alta eficacia luminosa, vida pobre.
Vapor de sodio de alta presión	50-150	15000-24000	Eficiencia energética, reproducción de color deficiente.
Vapor de sodio baja presión	100-190	18000-24000	Eficiencia energética, reproducción cromática muy deficiente.
Vapor de mercurio baja presión	30-90	5000-10000	Luminaria de poca duración, energía media, solo disponible en potencias bajas.
Luminaria fluorescente	100-120	15000-20000	Energía eficiente, larga vida útil de la lámpara, solo disponible en potencias bajas.
Diodo emisor de luz (LED)	70-160	40000-90000	Alto ahorro de energía, bajo mantenimiento, larga vida útil, alto costo de inversión en tecnología.

Fuente: (Vargas, 2015)

De acuerdo con la TABLA 1.3 se aprecia que las luminarias LED presentan algunas ventajas en comparación a las luminarias tradicionales empleadas en el servicio de alumbrado público, una de ellas es que tienen mayor eficiencia.

1.3 Sistemas de generación fotovoltaica

Una vez descritos los conceptos y criterios de diseño del alumbrado público, se debe definir los principios para la generación fotovoltaica, así como la tecnología que se utiliza para la conexión a la red eléctrica, distribución en bajo voltaje y cómo se concatena con el alumbrado público.

1.3.1 Principio para la generación solar fotovoltaica

Entre los principios que se utilizan para la generación solar fotovoltaica está el aprovechamiento del recurso solar, como la radiación solar global y el efecto fotovoltaico.

1.3.1.1 Energía solar

Es la energía que se capta de los rayos solares que inciden sobre la Tierra, la cual se puede emplear por la absorción de la radiación o por la producción de calor. El aprovechamiento de estas energías es conocido como renovables y del grupo no contaminante. (Mamani, 2017)

1.3.1.2 Radiación solar

La radiación es la emisión de ondas electromagnéticas que vienen desde el sol y llegan a la superficie terrestre en forma de rayos solares; dicha radiación es aprovechada por las células fotovoltaicas que la transforman en electricidad (Arteaga, 2020).

- Factores que modifican la radiación solar: la radiación depende de los parámetros geográficos donde se va a instalar como: la latitud, los días del año, las horas del día y las características meteorológicas de cada instante como la temperatura y existencia de nubes. (Gómez, 2015).

Debido a la rotación de la tierra, la radiación sufre cambios, pero se distinguen tres tipos de componentes sobre el total que inciden sobre una superficie arbitraria como son: radiación solar directa, radiación difusa, radiación de albedo. (Gómez, 2015)

a) Radiación solar directa (B): es aquella que alcanza la superficie receptora sin haber sufrido interacción con ninguna partícula u otro elemento a su paso por la atmósfera. (Gómez, 2015)

b) Radiación difusa (D): es la que sufre un cambio de dirección en la atmósfera por dispersión. (Gómez, 2015)

c) Radiación de albedo (R): radiación procedente de la reflejada por el suelo y, en ocasiones, puede ser despreciable. (Gómez, 2015)

La radiación es fundamental en la generación de energía a través de sistemas fotovoltaicos, ya que esto afecta a que tenga más o menos eficiencia en dependencia del

clima, la latitud u otros factores; por ello, se debe conocer la radiación que existe en el sector a aplicar los sistemas fotovoltaicos.

1.3.1.3 Radiación solar en Ecuador

La creación de generación fotovoltaica es debido a la utilización de la energía producida por el sol que está asociada con la intensidad de radiación solar incidente en un área específica, para ello se debe contar con datos de radiación confiables y que sirvan para el dimensionamiento de equipos que aprovechen la energía solar.

Cevallos-Sierra y Ramos-Martin (2018) sugieren el valor de radiación 3.8 kWh/m²/día para que un proyecto sea viable y según Vaca & Revelo, (2019) los niveles de radiación solar en Ecuador son lo suficientemente altos como para implementaciones de tecnologías solares térmicas y fotovoltaicas; en el caso de las provincias de Pichincha e Imbabura los niveles de radiación están entre los 4,5 y 5,7 kWh/m²/ día.

Por ello, el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), en el año 2008, difundió el “Atlas Solar del Ecuador”. En la Fig. 1 se muestra la radiación solar en el país. (Vargas et al., 2015)

El atlas puede ser utilizado por diferentes instancias interesadas en el estudio de la radiación solar. 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. (Bejarano, 2011)

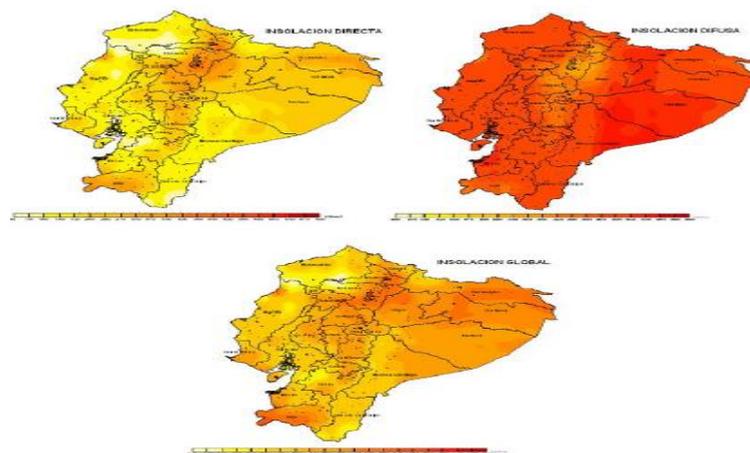


Fig. 1 Distribución de radiación en Ecuador

Fuente:(CONELEC, 2008)

El uso de estos mapas permite determinar las zonas geográficas que tienen mayor nivel de radiación y que se puedan emplear para el pre diseño de equipos que aprovechen la energía solar.

1.4 Tipos de instalaciones de generación fotovoltaicas

Para la generación fotovoltaica existen dos tipos de instalaciones que son: las aisladas de la red y las conectadas a la red.

a) Las instalaciones aisladas de la red son empleadas en lugares donde no llega la red eléctrica, como son viviendas aisladas, aplicaciones agrícolas, estaciones de telecomunicación, alumbrado y bombeo de agua. (Innovación y Cualificación S. L, 2017)

b) Las instalaciones conectadas a la red tienen como fin la obtención de energía eléctrica para su posterior venta o autoconsumo. (Innovación y Cualificación S. L, 2017)

De forma general, para Aarón et al. (2017), un sistema fotovoltaico autónomo aplicado a aplicaciones residenciales o industriales puede incluir los elementos que se encuentran en la Fig. 2.

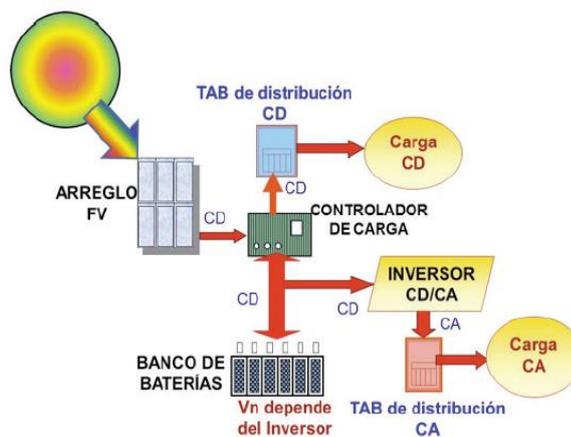


Fig. 2 Constitución general de un sistema de generación fotovoltaico

La Fig. 2 muestra que las instalaciones fotovoltaicas usadas en instalaciones residenciales o industriales deben contar con paneles fotovoltaicos, controladores de carga, baterías e inversores.

1.4.1 Tecnología usada en sistemas fotovoltaicos

Los equipos que se utilizan para la generación fotovoltaica son: panel fotovoltaico, inversor de corriente, acumuladores de energía y reguladores de carga.

1.4.1.1 Panel fotovoltaico

“Los paneles o módulos fotovoltaicos) están formados por un conjunto de células fotovoltaicas que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre

ellos mediante el efecto fotoeléctrico” (Hernández, 2017). Existen tres tipos de paneles solares que son: paneles solares monocristalinos, solares policristalinos y amorfos. En la TABLA 1.4 se pueden ver las ventajas y desventajas de los paneles solares.

TABLA 1.4 Ventajas y desventajas de los tipos de paneles solares

Tipo de panel	Ventajas	Desventajas
Panel monocristalino: Todo el volumen del panel solar es un único cristal de silicio puro dopado con boro, son los que proporcionan el rendimiento más elevado. (Tobajas Vázquez, 2018; Bayod Rújula, 2009)	Presentan mayor pureza en el contenido de silicio, lo que los hace más eficientes; entre el 20% en configuración en serie y un 24% en la configuración en paralelo. Por su capacidad de producción, necesitan menor espacio, para lograr la capacidad deseada en otros tipos. Presentan una garantía de 25 años.	Comercialmente son los más costosos. Para la creación del panel, se debe fabricar grandes lingotes cilíndricos. Son más eficientes durante la estación fría, pero cuando la temperatura aumenta la tasa de conversión eléctrica disminuye.
Panel policristalino: Son menos eficientes que los paneles anteriores; en su fabricación se usa menos silicio y su proceso es menos complicado. (Tobajas Vázquez, 2018)	El rendimiento de estos paneles está entre el 12 y 14%. La fabricación de silicio policristalino es más simple y menos costosa. Los paneles policristalinos presentan una mayor tolerancia a las temperaturas altas.	Por su pureza son menos eficientes que los paneles monocristalinos. Utilizan más paneles solares para cubrir la misma cantidad de potencia que con los monocristalinos.
Panel amorfo: El rendimiento de este panel es inferior al 10%; su ventaja es la maleabilidad. Actualmente se instalan en tejados y edificios por su adaptabilidad. (Tobajas Vázquez, 2018)	Estos paneles utilizan pequeñas cantidades de silicio, respecto a los anteriores. El proceso de producción es relativamente simple, lo que le hace más barato que el silicio cristalino. Los paneles amorfos son más flexibles, los cuales se pueden colocar sobre superficies curvas. Tienen un mayor rendimiento cuando hay malas condiciones de luz.	La duración de estos paneles no es de tanto tiempo como el mono y policristalino. Los paneles solares solo tienen una tasa de conversión de 6 a 12%. Es el menos eficiente, por lo que se tiene que instalar más paneles para que tengan la misma potencia que los paneles de silicio.

Fuente: (Mamani, 2017)

Según la TABLA 1.4 los paneles más adecuados para sistemas fotovoltaicos, por sus ventajas, son el panel monocristalino y policristalino.

1.4.1.2 Acumuladores de energía

Debido a que la radiación solar es variable, por los factores descritos anteriormente, la generación del sistema fotovoltaico no es constante. Es así que los acumuladores o baterías cumplen con la función de acumular la energía que se produce durante el día y se puede usar en la noche o cuando no existe suficiente radiación solar. (Arbelaez et al., 2019)

En los sistemas fotovoltaicos, los acumuladores utilizados son electroquímicos, conocidos como baterías recargables que presentan la propiedad de acumular energía eléctrica en forma de energía química y viceversa que conecta la carga a través de los dos electrodos que poseen. (Gimeno Sales, 2013b)

Las baterías empleadas en sistemas fotovoltaicos son especiales, ya que están en constante carga y descarga. Estas pueden clasificarse por la capacidad de almacenamiento

y su ciclo de vida útil. Su capacidad de almacenamiento dependerá de la velocidad de descarga, la capacidad nominal corresponde a un tiempo de descarga de diez horas. En condiciones normales el banco de baterías se carga en el día y alimentan a la demanda en la noche. (Bejarano, 2011)

Las baterías utilizadas en estos sistemas se pueden clasificar en: de plomo y de níquel.

- Baterías de plomo: están constituidas por un ánodo de dióxido de plomo, un cátodo de plomo y un electrolito de ácido sulfúrico diluido en agua. (Gimeno Sales, 2013c)

Comercialmente se pueden encontrar de tres tipos que son: baterías líquidas, tipo VRLA, baterías de gel y baterías tipo AGM. En la TABLA 1.5 se muestra una descripción, ventajas y desventajas.

TABLA 1.5 Tipos de baterías de plomo, ventajas y desventajas

Tipos de baterías de plomo	Ventajas	Desventajas
Baterías líquidas: Son denominadas así porque funcionan a altas temperaturas, para que el electrolito permanezca en estado líquido. (La guía solar, s. f.)	Presentan mayor capacidad de almacenamiento. Son económicas. Presentan menos problemas cuando se sobrecargan y tienen mayor durabilidad. Son las más utilizadas en sistemas fotovoltaicos, por su costo.	Existe el peligro de perder líquido. Suelen tener una vida útil corta, entre 400 ciclos de carga y descarga. Temperaturas muy bajas; pueden destruirlas rápidamente. (Planas, 2015)
Baterías tipo VRLA: Son baterías reguladas por válvulas. No están selladas; cuentan con la tecnología que recombina el oxígeno y el hidrogeno. (La guía solar, s. f.)	No tienen pérdida de agua si no se sobrecargan las baterías.	
Baterías de Gel: Son una subcategoría de las VRLA; se denominan así debido a que el ácido contenido está en forma de gel. (La guía solar, s. f.)	Impiden la pérdida de líquido. Pueden instalarse en cualquier posición. Resisten bajas temperaturas. Su vida útil es superior a las anteriores.	Son delicadas al momento de realizar la carga. Su precio es elevado.
Baterías tipo AGM: Igual a la anterior batería, es una subcategoría del tipo VRLA. Este tipo de baterías presentan una malla de fibra de vidrio entre las placas, empleadas para almacenar el electrolito. (La guía solar, s. f.)	Son muy resistentes a bajas temperaturas. Su eficiencia es de 95%. Buena relación de costo - vida útil. Su auto descarga es mínima.	El precio es elevado.

Fuente: El Autor

- Baterías de níquel: se pueden presentar de dos tipos: de níquel-cadmio y de níquel- hidruro metálico. En la TABLA 1.6 se presenta la descripción, ventajas y desventajas de este tipo de baterías.

TABLA 1.6 Baterías de níquel, ventajas y desventajas

Tipos de batería de níquel	Ventajas	Desventajas
Batería níquel - cadmio: Está formada por una placa positiva de hidróxido de níquel y una placa negativa de hidróxidos de cadmio. (Tobajas, 2014)	Soportan descargas más elevadas que las demás baterías. Ahorro considerable de capacidad de baterías. Su vida es más larga. Pueden resistir temperaturas más bajas. Soportan cortocircuitos fortuitos sin deteriorarse. Soportan la falta de agua, funcionando de nuevo cuando se añade.	El precio es tres veces mayor a una batería de plomo.
Baterías de níquel- hidruro metálico: Están conformadas por un electrodo de níquel y el otro de hidruro metálico. (Tobajas, 2014)	Es menos contaminante que la batería de níquel y cadmio.	El mayor inconveniente es que presenta un nivel más alto de auto descarga en comparación a la anterior. La aplicación en sistemas fotovoltaicos es limitada.

- De acuerdo con las TABLA 1.5 y TABLA 1.6, las baterías de plomo tipo GEL, a pesar del precio, por sus ventajas, son una buena elección para los sistemas fotovoltaicos.

1.4.1.3 Reguladores de carga

Parrales (2020) describe a los reguladores como los componentes que administran de forma eficiente la energía hacia las baterías, protegiéndolas de sobrecarga y sobre descarga.

En la actualidad, los reguladores cuentan con microcontroladores para la correcta gestión del sistema fotovoltaico. Comercialmente existen de dos tipos, el regulador por modulación por ancho de pulso (PWM) o el seguidor del máximo punto de potencia MPPT.

- Reguladores PWM: fueron los primeros reguladores de carga que aparecieron. Son capaces de llenar toda la batería, debido que introducen la carga de forma gradual, a pulsos de tensión. Esto hace que los módulos no trabajen en su punto máximo de potencia, produciendo una pérdida de potencia que puede llegar hasta el 25-30%. Las ventajas de este regulador son: la sencillez, el reducido peso y el bajo precio. (Monosolar, 2019; Vélez Sarmiento & Figueroa Quimbayo, 2015).
- Regulador MPPT: este tipo de control incorpora un limitador de corriente, además que posibilita la regulación de la tensión del panel y permite el almacenamiento en las baterías; aumenta la producción de energía en un 30% respecto a los PWM. (Tecnología, s. f.)

1.4.1.4 Inversores

Guerrero et al., 2016 menciona que la función del inversor es cambiar el voltaje de entrada de corriente continua a voltaje simétrico de corriente alterna; esto permite realizar la conexión con la red eléctrica o en instalaciones aisladas.

Hay tres diferentes tecnologías que se pueden usar en los sistemas fotovoltaicos, las cuales se describen en la TABLA 1.7

TABLA 1.7 Descripción de los tipos de inversores, con sus ventajas y desventajas.

Tipos de inversores	Ventajas	Desventajas
Inversores String: Utilizan inversores en cadena o conocidos como inversores centralizados. Para este sistema, los paneles fotovoltaicos deben conectarse en serie.	Son utilizados en los sistemas de generación de pequeña escala. Son de fácil mantenimiento. Son los menos costosos.	Solo producirá tanta electricidad útil como el panel solar que menos produzca. Puede sufrir el efecto cuello de botella; es decir, reducida drásticamente, si los paneles no funcionan correctamente.
Micro inversores: Son inversores distribuidos; es decir, cada panel solar tiene un pequeño inversor solar.	Son más eficientes que los anteriores inversores. Producen energía incluso si uno o más paneles solares tienen un rendimiento inferior. Permiten monitorear el rendimiento de los sistemas solares específicos, facilitando la identificación de producción si se diera el caso.	Son más costosos que los inversores en cadena. En caso de cualquier problema, se aumenta su nivel de dificultad.
Optimizadores de potencia: Combinan las dos tecnologías anteriormente mencionadas. Este tipo de inversores no convierten la electricidad de corriente continua, en corriente alterna inmediatamente, sino que condicionan la electricidad.	Son más eficientes que los inversores de cadena. Pueden supervisar el rendimiento de cada panel de manera individual. El costo de mantenimiento es menor. Son más asequibles que las instalaciones con micro inversores.	Una instalación con optimizadores de potencia costará más que una instalación con un inversor de cadena.

Fuente: (Monosolar, 2019)

Desarrollado: El Autor

Existe también el inversor/cargador cuya función es la de cargar un banco de baterías y convertir la corriente de las mismas en corriente alterna; estos pueden ser conectados a la red de un generador o de un control de carga solar. Este dispositivo permite que la unidad alterne automáticamente entre las fuentes de poder a medida que estén disponibles, asegurándose que las baterías se estén cargando de manera eficiente y que las cargas CA sean alimentadas sin demora. (SERIE EVOLUTION, s. f.)

1.4.2 Estudios previos para la aplicación de alumbrado público con energía fotovoltaica

Para la implementación de iluminación externa con energía solar fotovoltaica se requieren estudios previos que incluyan los siguientes aspectos: (Bohorques & Beltran, 2014)

- Factor de área de radiación solar del lugar donde se instala el punto de iluminación; se puede obtener de mapas solares o de simulador de base de datos solares.
- Estudio luminotécnico del lugar donde se desea implementar.
- Tiempo de iluminación diaria que es requerido para el dimensionamiento de paneles, reguladores, acumuladores e inversores.
- Facilidad de mantenimiento.

1.5 Sistemas fotovoltaicos aplicados en alumbrado público

En la actualidad los sistemas fotovoltaicos para alumbrado público son automáticos, ya que en su estructura se encuentra integrado un dispositivo electrónico o sensor capaz de percibir la luz solar, haciendo que en el día se apague y se encienda en la noche. Un ejemplo de este tipo de sistemas se muestra en la Fig. 3. (Llivicura, 2017)

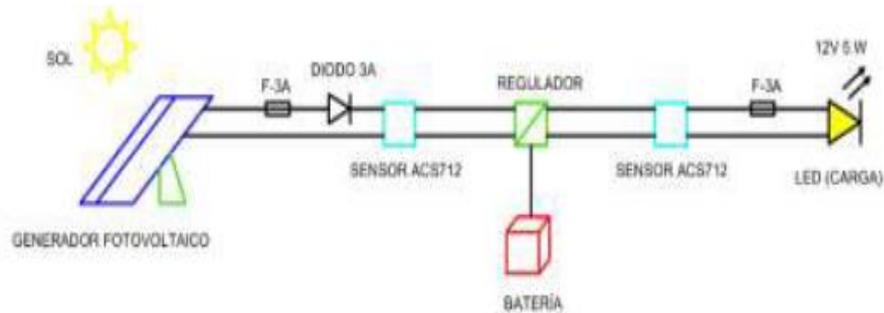


Fig. 3 Sistema fotovoltaico para luminaria led

Fuente: (Llivicura, 2017)

Llivicura Arias (2017) propone usar un diodo a la salida, ya que el panel solar en la noche se puede considerar una carga para el sistema que se observa en la Fig. 3.

1.5.1 Sistemas fotovoltaicos aislados de la red aplicados en alumbrado público

Los sistemas fotovoltaicos para alumbrado público autónomos o aislados a la red se clasifican generalmente en dos: (ESCOTEL, 2014)

a) Los sistemas solares centralizados son los que utilizan una fuente de energía central y un acumulador que alimentan un grupo de alumbrado público que se monta por separado, como se muestra en la Fig. 4. (SOLINC, 2021)

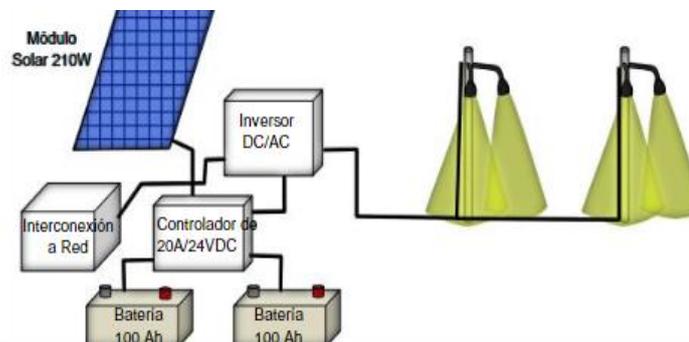


Fig. 4 Componentes básicos de una planta fotovoltaica para iluminación externa

Fuente: (Bohorques & Beltran, 2014)

En la Fig. 4 se muestra el esquema básico de una planta solar centralizada para luminaria externa.

- b) Las luminarias solares autónomas cuentan con paneles fotovoltaicos independientes y son montados en la estructura, como se observa en la Fig. 5. (SOLINC, 2021)



Fig. 5 Sistema de iluminación LED con sistema fotovoltaico

Fuente: (Mon & Htet, 2014)

Mon & Htet, 2014 propone un sistema de alumbrado público de la Fig. 5, que incluye: (1) panel solar, (2) unidad de iluminación LED, (3) batería y controlador solar, (4) poste donde se realiza el montaje.

Para los dos casos, las cajas en donde se alojan las baterías se colocan en la parte superior, de tal manera que solo pueda acceder el personal de mantenimiento.

1.5.2 Sistemas fotovoltaicos conectados a la red aplicados en el alumbrado público

Arkarnis y Sara (2019) proponen usar los sistemas fotovoltaicos en alumbrado público como sistemas de generación dispersas; estos sistemas suministrarán energía durante el día a la red y en la noche el sistema de alumbrado público se conectará a la red. El sistema propuesto se puede visualizar en la Fig. 6

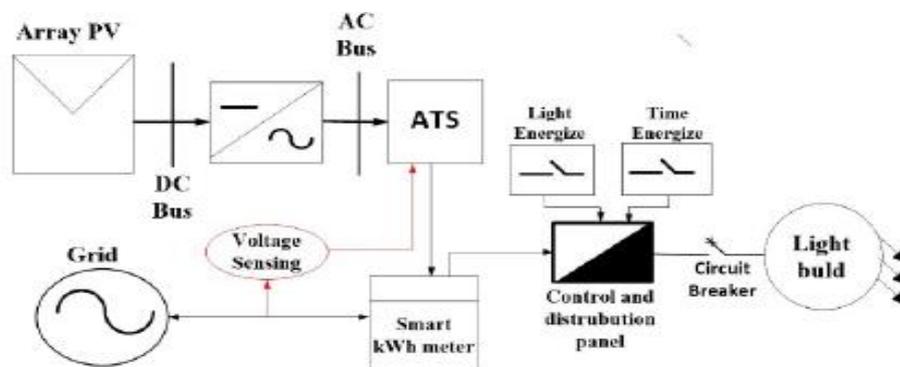


Fig. 6 Sistema de energía solar en alumbrado público como una planta de energía dispersa

Fuente: Arkarnis & Sara ,(2019)

El sistema fotovoltaico de la Fig. 6 se emplazará en la parte superior de las luminarias y se conectará con un inversor a la red eléctrica.

Reginaldo De Britto et al. (2010), en su investigación, describe el diseño e implementación de un Boost conectado en cascada con un convertido Quadratic Buck, que cuenta con interruptor activo, que se utiliza para impulsar una cadena de LED con fines de iluminación pública y privada. El convertidor permite ser suministrado de 12 VDC a 340 VDC, sin ningún ajuste adicional. Este sistema puede usarse en sistemas eléctricos híbridos suministrados por sistemas fotovoltaicos o 110/220 VAC de la red eléctrica. El sistema propuesto se muestra en la Fig. 7.

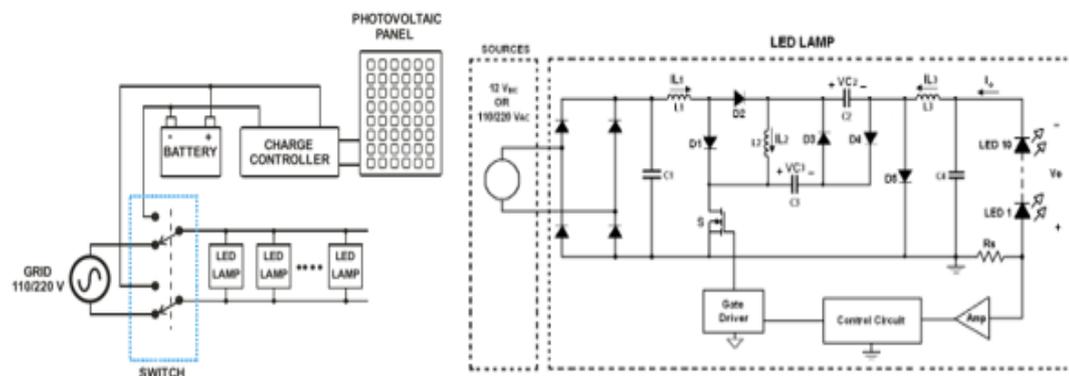


Fig. 7 Luminaria LED con sistema fotovoltaico híbrido

Fuente: Reginaldo De Britto et al. (2010)

En la parte izquierda de la Fig. 7 se observa la luminaria LED utilizada en un sistema híbrido de energía eléctrica. En la parte derecha se muestra el esquema de la luminaria LED compuesta por un convertidor Boost-Buck2, circuito de control y cadena LED.

Mineiro Sá Junior et al, (2007) propone el diseño e implementación fotovoltaico conectado a la red, el cual suministra energía a una lámpara de sodio de alta presión 70 W, para iluminación pública, durante el tiempo de alta demanda.

Para esto, el sistema fotovoltaico almacenará la energía en baterías de plomo ácido a través de un controlador de carga y cuando se ponga el sol este suministrará energía a la lámpara durante el período de alta demanda pico; después, la lámpara es suministrada por la red eléctrica. El sistema se muestra en la Fig. 8. (Mineiro Sá Junior et al., 2007)

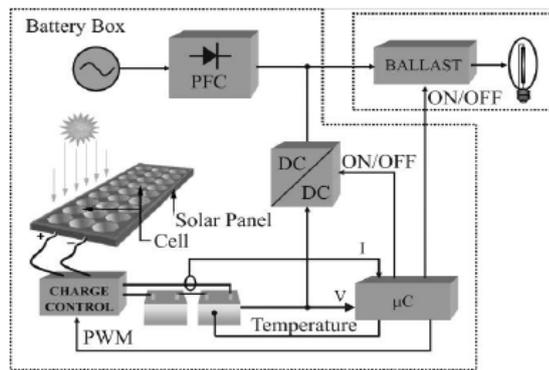


Fig. 8 Diagrama de bloques del sistema

Fuente: (Mineiro Sá Junior et al., 2007)

El sistema que se muestra en la Fig. 8 está conformado por un reactor electrónico (balastro) que funciona con conmutación de cero voltios (ZVS), corrección del factor de potencia (PFC), un convertidor flyback para aumentar el voltaje de la batería al nivel requerido por el balastro y un controlador de carga para la batería. La estrategia de control es proporcionada por un microcontrolador AVR AT90S8535 de Atmel™.

1.5.3 Casos reales de iluminación fotovoltaica

El primer proyecto fue realizado en Colombia por la compañía Alta Ingeniería XXI. Ltda., con una capacidad de 20 (KW), diseñado para ofrecer iluminación autónoma al túnel Santa Rosa, vía Dosquebradas, el cual se visualiza en la Fig. 9. (Higuera, 2013)



Fig. 9 Esta planta de energía solar suministra iluminación autónoma al túnel Santa Rosa vía Dosquebradas

Fuente:(Higuera, 2013)

Este sistema cuenta con sensores automáticos que detectan la luminosidad y aumentan o disminuyen la intensidad de la luz; cuenta con la autonomía de dos días para tener un respaldo en días nublados. (Higuera, 2013)

En Argentina, el primer alumbrado público en base a energía solar se instaló en la ciudad de General Mosconi, provincia de Salta. El sistema cuenta con la instalación, en cada poste, de un panel solar, una batería y un controlador de carga, lo cual hace que el sistema

sea autónomo, para que se active en la noche y deje de funcionar durante el día. Parte del sistema se muestra en la Fig. 10 (La Mañana, 2011)



Fig. 10 Primer alumbrado público alimentado con generación fotovoltaica en la Argentina

Fuente: (La Mañana, 2011)

La Fig. 9 es una aplicación real de un alumbrado público con sistemas fotovoltaicos aislado de la red del tipo centralizado y la Fig. 10 es una aplicación real de alumbrado público con sistemas fotovoltaicos aislado de la red del tipo autónomo.

CAPÍTULO 2

2 Rediseño del parque con el sistema fotovoltaico

2.1 Introducción

El aumento de la demanda energética a nivel mundial es el factor principal para la creación de nuevas fuentes de generación. el Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables (MERNNR) manifiesta que, en Ecuador, el alumbrado público representa aproximadamente el 6% del consumo a nivel nacional; es por ello que el presente trabajo tiene como principio el rediseño del alumbrado ornamental del parque de la parroquia San José de Quichinche, incluyendo el estudio de la aplicación de sistemas fotovoltaicos para reducir la carga en horas pico.

Para el diseño del sistema de generación eléctrica se parte de la energía solar disponible en la ciudad de Otavalo; es decir, la radiación solar aprovechable en esta zona o área. Este dato se encuentra disponible en fuentes bibliográficas; el primero es proporcionado por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), en 2018, y el segundo más actualizado es el mapa solar del Ecuador 2019, el cual ayuda a determinar y especificar los parámetros del sistema solar fotovoltaico (panel solar, baterías, inversor, protecciones, entre otros). Este va a ser híbrido, debido a que en las horas pico, de 18:00 a 22:00, el sistema es autónomo y

después tiene conexión a la red, para alimentar todo el alumbrado ornamental del mencionado parque.

2.2 Descripción del lugar de estudio

El cantón Otavalo se encuentra ubicado geográficamente en la zona norte del Ecuador, específicamente en la región interandina. La ciudad del mismo nombre, al encontrarse en una zona elevada, es idónea para la generación eléctrica mediante la recepción de radiación solar.

- Ubicación del lugar

El diseño de alumbrado público ornamental con aplicación fotovoltaica se realiza en el parque San José de Quichinche, cuya ubicación geográfica se encuentra en la TABLA 2.1

TABLA 2.1 Ubicación geográfica del parque de San José de Quichinche

Información geográfica	
Latitud	0.2369
Longitud	-78.2879
Altitud	2634.53 (m.s.n.m)

Fuente: (NASA, 2020)

2.3 Metodología

En este capítulo se presenta el diseño del generador fotovoltaico autónomo desarrollado. Para ello se emplearon metodologías con el objetivo de proporcionar y explicar la composición del proyecto. El primero es el método analítico, el cual se encarga en descomponer en partes el generador fotovoltaico, para estudiar la constitución de cada una de ellas. El segundo, el inductivo, proporciona los resultados, basándose en el análisis realizado y por último el método deductivo, utilizado para dar las conclusiones en función de todo el estudio realizado. El diagrama de flujo que se muestra en la Fig. 11 presenta la metodología para el desarrollo del diseño del sistema fotovoltaico.



Fig. 11 Metodología a usar

Fuente: El Autor

Materiales

- Recurso solar

Para la obtención de datos sobre radiación solar, se puede contar con varias fuentes de información sobre el tema, ya sea el Atlas Solar del Ecuador, proporcionado por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), publicado en 2008, que indica la radiación directa, difusa y global de cada mes, en las diferentes provincias. Dicho mapa señala el promedio diario de la radiación solar en $\text{kW/m}^2/\text{día}$. También hay el mapa solar actualizado, publicado en 2019. Estas dos fuentes bibliográficas muestran el nivel de radiación horizontal que se encuentra en la Fig. 12; por eso, también se debe tomar la información que proporciona la Administración Nacional de la Aeronáutica (NASA), en la que constan los niveles de radiación con varios ángulos de inclinación, de los cuales se escogerá el más adecuado para el proyecto.

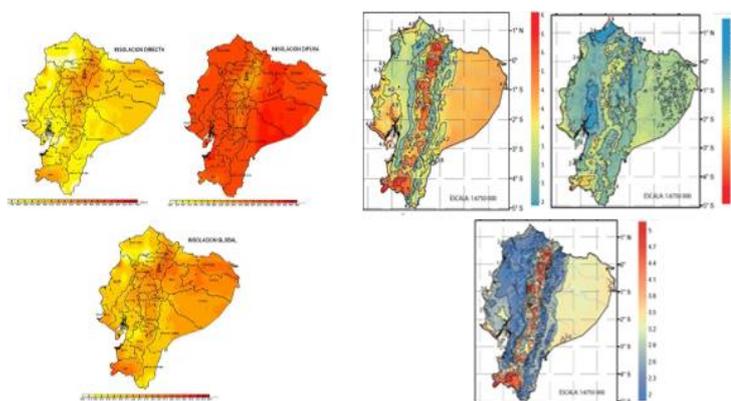


Fig. 12 En la parte de la izquierda es el atlas solar con la insolación directa, global y difusa; en la parte derecha se encuentra el mapa solar de Ecuador con irradiación solar global, directa y difusa.

- **Determinación de las horas solares pico**

Para determinar la hora solar pico (HSP) de irradiación kWh/m²/día incidente en el parque San José de Quichinche se analizaron los antecedentes y referencias semejantes al sector; uno de ellos es el mapa solar del Ecuador, donde se encuentra la irradiación solar que el país recibe al año.

En la TABLA 2.2 se muestra la insolación radiación de forma global que existe en el cantón Otavalo, según el atlas solar presentado por el CONELEC y los datos de irradiación global que existe en la provincia y en el cantón Otavalo, según el mapa solar.

TABLA 2.2 Datos de insolación por parte del CONELEC

Mes	Insolación global CONELEC	Irradiación global Mapa solar
	Valor Promedio [kWh/m ² / día]	Valor Promedio [kWh/m ² / día]
Enero	4.500	4.20
Febrero	4.650	3.00
Marzo	4.350	4.80
Abril	4.350	3.60
Mayo	4.200	3.60
Junio	4.650	5.40
Julio	4.650	6.00
Agosto	4.650	6.00
Septiembre	4.950	6.00
Octubre	4.950	5.40
Noviembre	4.800	5.40
Diciembre	4.650	6.00
Promedio	4.61	4.95

Fuente: El Autor

Para mejorar el análisis del recurso solar se debe contar con datos de radiación a diferentes ángulos de inclinación. Los datos de la NASA que se encuentran en la TABLA 2.3 nos proporcionan el ángulo de inclinación óptimo por cada mes, junto con la radiación óptima de dicho mes y la inclinación, si es de norte a sur o sur a norte de los paneles.

TABLA 2.3 Datos obtenidos de la Nasa

	Meses											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Irradiancia solar óptima [kWh/m ² / día]	4.07	3.92	4.3	4.15	3.99	3.95	4.15	4.07	3.83	3.83	3.81	3.8
Ángulo óptimo de irradiancia solar (grados)	20	11.5	2.5	-8.5	-17.5	-22	-21	-12.5	-2	8.5	17	21.5
Orientación de superficie inclinada de irradiancia solar (orientación N / S)	S	S	S	N	N	N	N	N	N	S	S	S

Fuente: (NASA, 2020)

Según la TABLA 2.3, la mayoría de los meses se debe colocar el panel fotovoltaico de norte a sur.

- Descripción de los softwares

a) DIALux: Es un software gratuito diseñado para la creación de proyectos de iluminación, con el que se puede asegurar el cumplimiento de la normativas vigentes. (Universidad Complutense Madrid, 2021)

b) AutoCAD: es un programa de diseño asistido por computadora (CAD) utilizado para crear gráficos precisos en 2D y 3D. (AUTODESK, 2021)

c) Pvsyst: es una herramienta que permite el estudio, la simulación y análisis de datos completa de los sistemas fotovoltaicos. (García, 2015)

- Formulaciones matemáticas

a) Inclinación óptima de los paneles fotovoltaicos

Mediante la utilización de una fórmula de análisis estadísticos de radiación anual sobre la superficie, se puede establecer el ángulo de inclinación en los paneles estáticos. (Mejía, 2018).

Empleando la Ecuación (1).

$$B_{opt} = 3.7 + 0.69 * |\Phi| \tag{1}$$

Donde:

B_{opt} : ángulo de inclinación óptima (grados),

$|\Phi|$: es la latitud del lugar (grados).

b) Consumo

Para estimar el consumo se debe conocer, la potencia y número de horas que van a estar conectados los equipos, para ello se ocupa la Ecuación (2) (AutoSolar, 2018).

$$C = P * T \quad (2)$$

Donde:

C: Consumo (Wh/día),

P: potencia de las luminarias en cada poste (W),

T: es el tiempo de consumo (h)

c) Cálculo de la corriente y consumo máximo

Pérez, 2019 menciona que, si el consumo de energía no es superior a 1500 Wh/día, se elige una tensión del sistema de 12V, lo que corresponde a este caso de estudio. Para determinar el consumo máximo se emplean las Ecuaciones (3),(4),(5):

$$I_{max} = \frac{C}{V_B} \quad (3)$$

Donde:

I_{max}: es la corriente máxima (Ah/día),

C: Consumo (Wh/día),

V_B: voltaje del sistema(V).

Con las Ecuaciones (4) y (5) se calcula el consumo máximo.

$$C_{max} = \frac{I_{max}}{R} \quad (4)$$

Donde:

C_{max}: es consumo máximo (Ah/día),

I_{max}: corriente máxima,

R: rendimiento global de la instalación fotovoltaica.

d) Rendimiento global de la instalación fotovoltaica

En una instalación fotovoltaica se debe considerar varios factores que provocan pérdidas en el rendimiento global "R" y para determinar el consumo máximo se toman en cuenta una serie de parámetros descritos por (Flores, 2016) (Mamani, 2017) y se calcula con la Ecuación (5).

$$R = (1 - K_b - K_c - K_v) * \left(1 - \frac{K_a * N}{P_d}\right) \quad (5)$$

Donde:

R= Rendimiento global de la instalación fotovoltaica.

K_a = Coeficiente de auto descarga diaria.

K_b = Coeficiente de pérdidas del acumulador.

K_c = Coeficiente de pérdidas del inversor.

Kv = Coeficiente de pérdidas varias.

N = autonomía (días).

Pd = Profundidad de descarga del acumulador.

e) Cálculo de las baterías

(Bejarano, 2011), (Mejía, 2018) presentan la Ecuación (6), para determinar la capacidad de la batería.

$$C_n = \frac{C_{max} * N}{PD} \quad (6)$$

Donde:

Cn: capacidad total de baterías (Ah)

Cmax: consumo máximo (Ah/día)

N: autonomía (días)

PD: factor de descarga de batería (50%)

f) Cálculo de la potencia mínima del generador fotovoltaico.

Correa y González, 2018, propone determinar la potencia mínima con la Ecuación (7)

$$P_{min} = \frac{EI}{HSP * R} \quad (7)$$

Donde:

Pmin: potencia mínima del generador (Wh/día)

EI: energía de la luminaria (Wh/día)

HSP: horas sol pico

R: rendimiento global de la instalación fotovoltaica

g) Potencia pico

Para obtener la Potencia pico, Correa y González, 2018, propone que se debe cumplir con la Ecuación (8):

$$P_p < 1.2 * P_{min} \quad (8)$$

h) Número de paneles fotovoltaicos y energía real

Para determinar el número de paneles: Flores, 2016, propone la Ecuación (9)

$$NPFV = \frac{E}{0.9 * (P_p * HSP)} \quad (9)$$

Donde:

NPFV: número de paneles fotovoltaicos.

E: consumo real.

Pp: potencia pico del panel.

HSP: horas sol pico.

Para el cálculo del consumo real se obtiene de la Ecuación (10)

$$E = \frac{C}{R} \quad (10)$$

Donde:

E: consumo real.

Pmax: es la potencia máxima en (Wh/día).

R: rendimiento global de la instalación fotovoltaica.

i) Cálculo para determinar la corriente del regulador de carga.

Para determinar la corriente del controlador Flores, 2016, propone la Ecuación (11)

$$Acr = \frac{P_{tap}}{VB} \quad (11)$$

Donde:

Acr: corriente del controlador.

Ptap: potencia total del arreglo de paneles.

VB: tensión del sistema.

j) Cálculo para dimensionar el inversor

Burdick & Schmidt, 2017, indica que el inversor debe tener un factor de seguridad de 15% y para su dimensionamiento se usa la Ecuación (12)

$$P_{inversor} = 1.15 * P_{tap} \quad (12)$$

Donde:

P_{inversor}: potencia del inversor.

P_{tap}: potencia del arreglo de paneles.

k) Dimensionamiento del conductor del sistema fotovoltaico

Chávez, 2012, menciona que el cálculo de la selección del conductor en una instalación fotovoltaica es muy importante, para el dimensionamiento adecuado del conductor. Quinto, 2018, propone que el conjunto fotovoltaico no debe estar muy lejos uno del otro, ya que de esta forma las caídas de voltaje son menores, así como la sección del conductor y su longitud; además que esto permite elegir correctamente los elementos de seguridad. Para el conductor se subdivide el sistema fotovoltaico en cuatro partes:

Módulo solar- controlador de carga

Controlador de carga - batería

Batería-inversor

Inversor-carga (Luminarias)

La sección básicamente se elige en función de la corriente que va a circular por los cables y la longitud del mismo, la cual está dada por la Ecuación (13):

$$A = \frac{2 * \rho * L}{\Delta V} * I \quad (13)$$

Donde:

A: sección de conductor (mm^2)

ρ : resistividad específica del conductor (Ohm* mm^2/m), 0,0172 resistividad del cobre

L: longitud del conductor hasta el receptor (m),

ΔV : caída de tensión admisible en el cable (V),

I : corriente (A),

Los valores recomendables de caída de tensión admisible se encuentran en la TABLA 2.4 que vienen dados en porcentajes y en términos absolutos, según la tensión de trabajo.

TABLA 2.4 Valores recomendados de caída de tensión

Equipos	Caídas de tensión admisible		
	Tensión de trabajo	%caída de tensión	Valor en voltios de caída
	Nominal [V]	Admisible	Admisible [V]
Módulo-Regulador	12	5	0.6
Regulador-batería	12	0.5	0.06
Batería-inversor	12	0.5	0.06
Batería/inversor /cargador	12	3	0.36

Fuente: (Freire & Gordillo, 2013)

l) Cálculo de las protecciones del sistema fotovoltaico

Aulestima, 2017 menciona que se debe brindar una protección 125% de la corriente nominal de cortocircuito del panel fotovoltaico; sin embargo, si la corriente es menor a 15 A, se escoge como protección mínima de dicho valor. Para ello, una vez que se escoja el panel fotovoltaico se debe emplear la Ecuación (14)

$$P = I_{\infty} * 1.25 \quad (14)$$

Donde:

P: capacidad de las protecciones en Amperes (A),

I_{∞} : corriente de cortocircuito del módulo fotovoltaico.

m) Dimensionamiento de la potencia,

El dimensionamiento de la carga para un circuito de alumbrado público se lo realiza por tramos y circuitos de la manera más cómoda y ordenada. Se ocupa la Ecuación (15). (Arias, 2015)

$$P(W) = \#luminarias * S/luminarias \quad (15)$$

Donde:

P(W): potencia del tramo,

#luminarias: número de luminarias en el tramo,

S/luminarias: potencia individual de las luminarias

n) Cálculo de la corriente

El cálculo de la corriente se determina con la Ecuación (16).

$$I[A] = \frac{P}{V_{LL} * fp} \quad (16)$$

Donde:

I: corriente del circuito,

P: potencia del circuito en W,

VLL: voltaje medido de línea a línea (220V),

Fp: factor de potencia de las luminarias

o) Cálculo de la caída de tensión en alumbrado público

La empresa EERSSA, 2012 determina que la caída de tensión admisible para el alumbrado público es del 2%; para el respectivo cálculo se realiza por circuito y se comprobará que no sobrepase el valor admitido; se usa la Ecuación (17)

$$\Delta U = \frac{P * L}{S * \gamma * U} \quad (17)$$

Donde:

ΔU = caída de tensión permitida (expresada en voltios),

P= potencia (W),

L= longitud del cable (m),

S= sección del conductor (mm²),

γ = conductividad del conductor (cobre 56 m/Ω. mm),

U= tensión (línea-línea 220 V)

- Normativas, regulaciones o políticas

Los parámetros de iluminación en alumbrado público en Ecuador están regulados por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNR) en la Resolución 029/2020 y Regulación 006/20.

En la mencionada regulación de la ARCERNNR se presentan varios parámetros de iluminación que se requieren, según el tipo de tráfico motorizado, así como la afluencia de tráfico peatonal. Estos se encuentran en Tablas, las mismas que están descritas en el Anexo A.

Los parámetros fotométricos que describe la regulación se encuentran en la TABLA 2.5

TABLA 2.5 Descripción de los parámetros fotométricos

Parámetros fotométricos	Descripción
Luminancia promedio de la calzada (<i>Lav</i>)	Es el valor mínimo que debe mantener la instalación que depende de la distribución de la luz de la luminaria, del flujo luminoso de las lámparas y de las propiedades de reflexión de la calzada.
Uniformidad general de luminancia de la calzada (<i>Uo</i>)	Es la relación entre la luminancia mínima y la luminancia promedio de la vía. Su valor depende de los mismos factores que inciden en la luminancia promedio.
Uniformidad longitudinal sobre la calzada (<i>UL</i>)	Es la relación entre la luminancia mínima y la luminancia máxima, medidas o calculadas en dirección longitudinal a lo largo del eje central de cada carril de circulación.
Relación de los alrededores (<i>SR</i>)	Es la relación de la iluminancia promedio en bandas de 5 m de ancho cada una, adyacente a los dos bordes de la calzada para la iluminancia promedio en bandas de 5 m de ancho dentro de la calzada.

Fuente:(ARCERNNR 006-20, 2020)

Elaborado: El Autor

2.4 Rediseño del alumbrado ornamental

Para el rediseño del parque de San José de Quichinche se debe conocer el área a iluminar, para establecer los niveles de irradiación que necesita.

2.4.1.1 Plano del parque a iluminar

Para realizar una correcta iluminación del parque se debe contar con el plano y conocer las áreas verdes y peatonales. El plano en cuestión se encuentra en la Fig. 13.

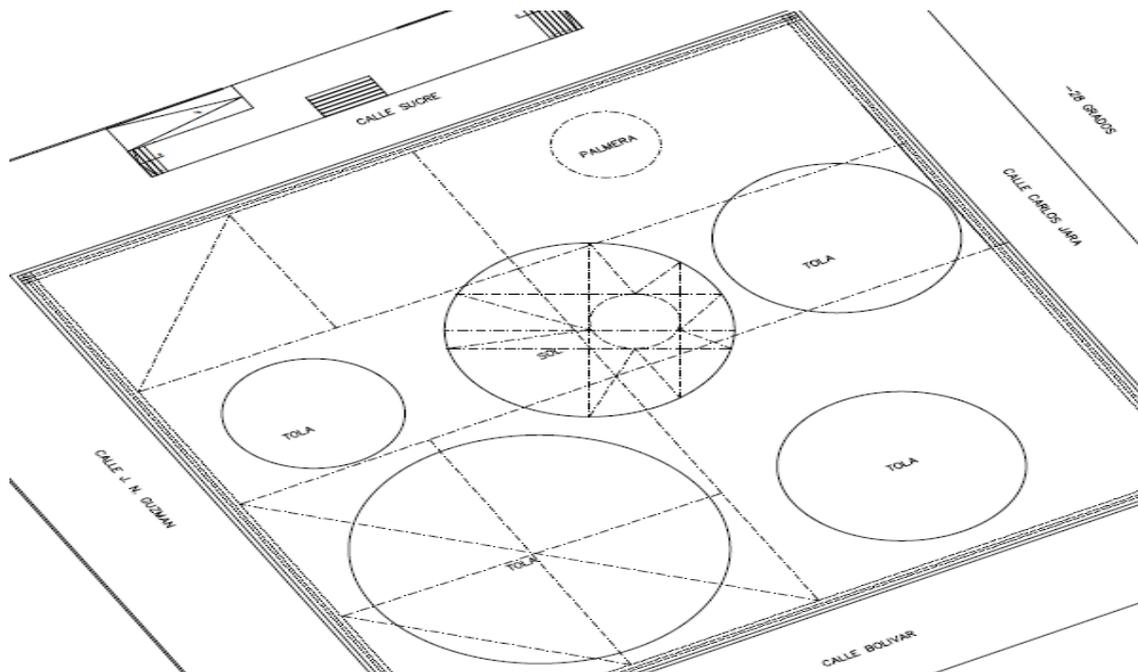


Fig. 13 Plano de la Parroquia San José de Quichinche

Fuente: VF Electric

Como se dijo anteriormente, el parque se encuentra en reconstrucción, lo que implica que para conocer la carga a instalar se debe diseñar el alumbrado con un software de iluminación, de tal manera que se cumpla con los parámetros que pide la regulación actual.

2.4.1.2 Rediseño del alumbrado ornamental

De acuerdo a los criterios de diseño que se encuentran en las TABLAS del Anexo A descritas por la Regulación 006/20 de la ARCERNNR, las calles alrededor del parque se consideran como vías secundarias que necesitan un tipo de iluminación M5 que requiere los parámetros fotométricos de luminancia promedio de $0.6 \text{ [cd/m}^2\text{]}$, factor de uniformidad de 0.4, el deslumbramiento de 10%; el factor de uniformidad longitudinal y la relación del entorno no son requeridos. Por la superficie de la vía que es de adoquín, el tipo más adecuado es un R3 (revestimiento en hormigón), para lo que el valor promedio de iluminancia es de 9 lx y el valor de uniformidad de la iluminancia 18%. De acuerdo al tipo de vía, para peatones y ciclistas, la clase de iluminación es una P5 (Utilización nocturna baja para peatones y ciclistas). Los requisitos mínimos de iluminación para la clase mencionada tienen un valor promedio de 3.0 lx y un valor mínimo de 0.6 lx.

Para la elaboración de los cálculos de iluminación se utiliza el programa DIALux evo, ya que es un software libre; el diseño alumbrado se encuentra en la Fig. 14

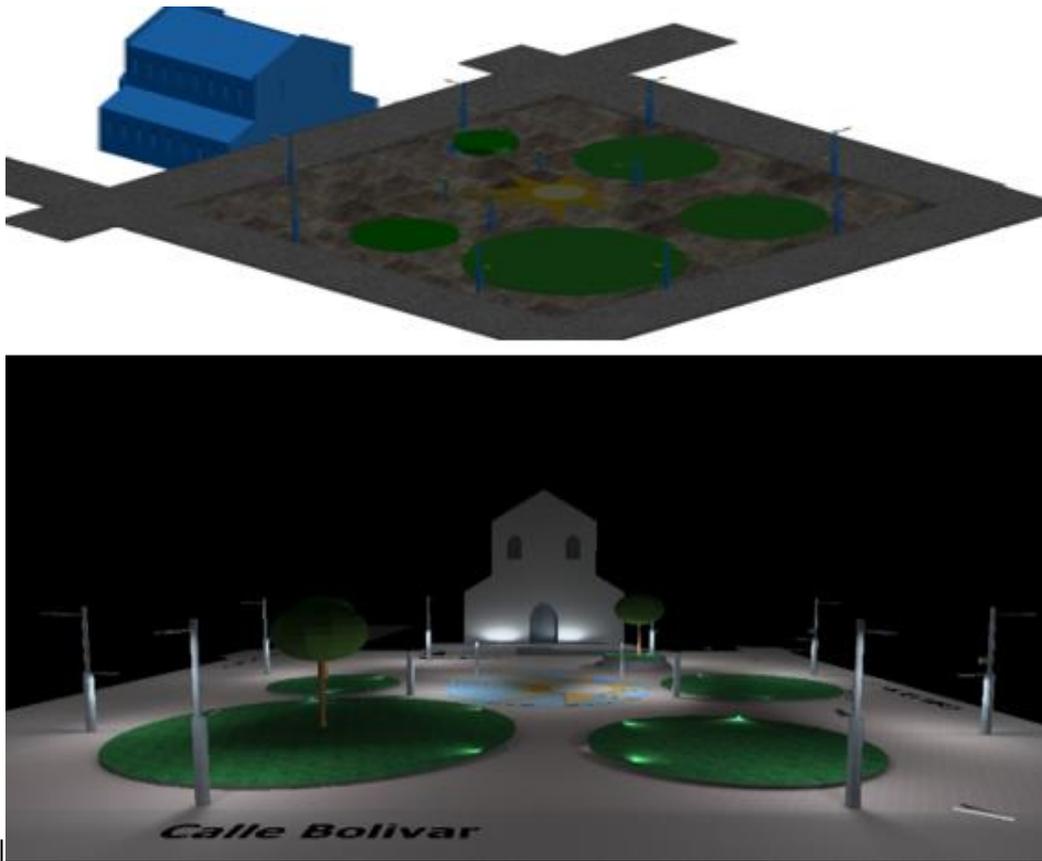


Fig. 14 En la parte superior se muestra el diseño 3D realizado en AutoCAD y en la parte inferior se encuentra el diseño en DIALux

Fuente: El Autor

Los cálculos realizados por el programa DIALux se encuentran en el Anexo B, junto con la descripción de las luminarias empleadas en todo el parque, las cuales permiten el cumplimiento de los parámetros descritos anteriormente.

2.4.1.3 Selección de las luminarias

Las luminarias que se toman en cuenta para el diseño del generador fotovoltaico son dos, las cuales se describen en las Fig. 15 y Fig. 16.

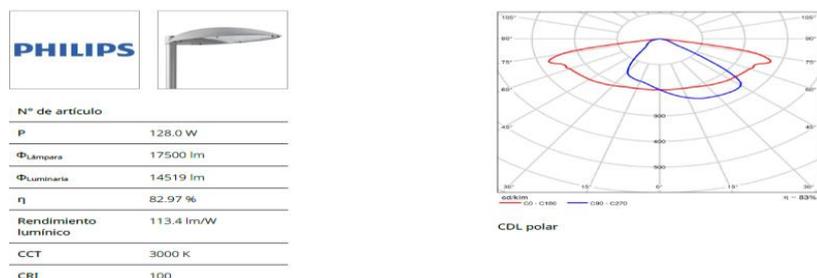


Fig. 15 Luminaria ubicada a 10m de altura, obtenida de los datos de DIALux

Fuente: El Autor

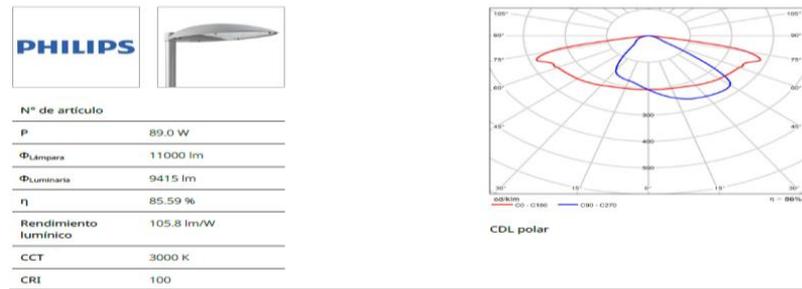


Fig. 16 Luminaria ubicada a 5m de altura, obtenida de los datos de DIALux

Fuente: El Autor

La luminaria de mayor potencia se ubica a una altura de 10m y la segunda, de menor potencia, a la altura de 5 m; ambas se colocarán en postes de dos brazos que se ubican en el perímetro del parque.

2.5 Dimensionamiento del sistema de fotovoltaico

Teniendo en cuenta el rediseño del alumbrado ornamental del parque San José de Quichinche, y conociendo la potencia de las luminarias a instalar, se analiza la aplicación del sistema solar fotovoltaico y se realizó el cálculo de cada uno de los componentes que lo conforman, junto con la selección que se acopló mejor al proyecto.

2.5.1.1 Ángulo de inclinación del panel fotovoltaico

Aplicando la Ecuación (1), con una latitud de 0.23686, se obtuvo un ángulo de inclinación de 3.8634°. De acuerdo con los datos proporcionados por la NASA, se obtiene mejor radiación en los ángulos de 2.5° y de 20° y para el ángulo resultante el más cercano es el de 2.5° con una radiación de 4.3 kWh/m²/ día; por lo tanto, se selecciona para la inclinación óptima de los paneles.

2.5.1.2 Cálculos para el sistema fotovoltaico

El diseño del sistema fotovoltaico se hará por poste, en el cual deberán ir: el panel fotovoltaico, el regulador de carga, la batería, cable, protecciones, puesta a tierra inversor y de este último hacia la red eléctrica de distribución de bajo voltaje, una vez que pasen las horas pico (de 18:00 a 22:00).

- Irradiación solar

De acuerdo con la TABLA 2.2, los valores de radiación global promedio para el caso del atlas solar son de 4.61 kWh/m²/día; el valor promedio del mapa solar es de 4.95

kWh/m²/día, teniendo un porcentaje de error de 6.81% que representa una variación considerable. También se debe tomar en cuenta los datos de radiación de la TABLA 2.3, obtenidos de las fuentes de la Nasa, que señalan un valor de 4.3 kWh/m²/día; cualquiera de estos se puede utilizar para el diseño del sistema fotovoltaico.

Pero, con el objetivo de generalizar y obtener un diseño más equilibrado, se procede a escoger el valor promedio entre estos tres valores, dando un total de 4.62 kWh/m²/día.

- Luminaria seleccionada

Para este caso se consideran dos luminarias de la marca Philips, las de mayor potencia con 128 W dirigidas hacia las vías y las de menor potencia, con 89 W, dando un total de 217 W.

- Consumo de las luminarias

De acuerdo a la Ecuación (2) se obtienen los resultados del consumo de las luminarias que se muestran en la TABLA 2.6, considerando el lapso de 4 horas, ya que es el tiempo que será diseñado para que el sistema fotovoltaico sea autónomo.

TABLA 2.6. Consumo diario de las luminarias

Ítem	Equipo	Potencia [W]	Tiempo de consumo [H]	Energía [Wh/día]
1	Potencia de las luminarias LED	217	4	868
2	Autoconsumo	0.108	24	2.592
Consumo				870.592

Fuente: El Autor

En la TABLA 2.6 se determina el consumo de las luminarias de 870.592 Wh/día, con la que se procede a seleccionar la corriente y el consumo máximos del sistema fotovoltaico.

- Cálculo del consumo máximo.

Para determinar el consumo máximo, primero se debe encontrar la corriente y el rendimiento global de la instalación fotovoltaica.

La corriente máxima se determina con la Ecuación (3). Teniendo como potencia máxima 870.592 Wh/día y asumiendo como tensión del sistema 12 V, se obtiene que la corriente máxima es de 72,549 Ah/día.

El rendimiento máximo del sistema fotovoltaico se lo determina con la Ecuación (4), el valor para los factores Kb, Ka, Kc, Kv es de 0.05 y el valor de descarga de la batería se considera de 0.5, obteniendo un rendimiento global del sistema de 0.842.

Finalmente, aplicando la Ecuación (5), se determina que el consumo máximo del sistema es de 86.16 Ah/día. Con este resultado se dimensiona la capacidad de la batería.

- Establecimiento de la capacidad de la batería.

Para determinar el almacenaje de las baterías se emplea la Ecuación (6), como ya se obtuvo el consumo máximo de 86.16 Ah/día, considerando un día de autonomía, y la descarga de las baterías se determinó del 50%. Se obtuvo una batería de 172.32 Ah y, como comercialmente no existe, se debe escoger una con capacidad de 200Ah que debería consumir una corriente nominal de 43.1 A.

- Potencia del generador fotovoltaico.

La energía que debe suministrar el generador fotovoltaico se determina con la Ecuación (7). El valor de la energía de la luminaria es 868 Wh/día. Como se determinó una radiación solar promedio de 4.62 kWh/m²/día, con un rendimiento global del sistema fotovoltaico de 0.842, se obtiene que la energía que debe suministrar el generador fotovoltaico es de 223.13 Wh/día y la potencia pico debe ser menor a 267.75 Wp. De acuerdo a estos resultados se debe escoger paneles fotovoltaicos con una potencia de 250 Wp.

- Número de paneles

Para establecer el número de paneles fotovoltaicos se debe determinar el consumo real. Se aplica la Ecuación (9) y se obtiene el valor de 1033.957 Wh/día; con la aplicación de la Ecuación (9) se tiene que el NPFV, asumiendo 250 Wp como la potencia máxima del panel y 4.63 kWh/m²/día como HSP, para el diseño es necesario un panel fotovoltaico en cada poste.

- Dimensionamiento del regulador de carga

Teniendo una potencia pico de 250 Wp, aplicando la Ecuación (11), asumiendo que la tensión es 12 V y la corriente del controlador de 20.83 (A)

- Dimensionamiento del inversor

Teniendo una potencia pico de 250 Wp y aplicando la Ecuación (12), el inversor debe tener una potencia de 287.5 W, pero debido a las luminarias escogidas se necesita un inversor de 300 W que invierta la tensión de 12 V DC a 220 V AC.

- Dimensionamiento del conductor

En la sección del conductor para el sistema fotovoltaico se debe dividir el mismo en cuatro partes, aplicando la Ecuación (13) y la caída de tensión recomendable de la TABLA 2.4. El conductor que se ha seleccionado para cada sección se encuentra en la TABLA 2.7

TABLA 2.7 Calibre del cable para el sistema fotovoltaico

Cable/localización	A (mm ²)	Cable AWG
Módulo fotovoltaico- Regulador	3.87	12
Regulador - Batería	12.9	6
Batería-Inversor	8.35	8
Inversor- luminaria	8.35	8

Desarrollado: El Autor

- Puesta a tierra

La puesta a tierra de la instalación es muy importante, ya que delimita la tensión que pueda presentarse en un momento dado en las masas metálicas de los componentes, con esto asegura que las protecciones actúen adecuadamente y eliminen el riesgo de la avería de alguno de los equipos.

En el proyecto se instalará una puesta a tierra general para los sistemas fotovoltaicos, que debe estar aislada a la puesta a tierra de la red de distribución.

2.5.1.3 Simulación

Para reafirmar los cálculos obtenidos se procede a realizar una simulación con el software PVsyst; este pondera la generación de un sistema fotovoltaico utilizando datos satelitales de irradiación.

En el Anexo E se muestra la simulación de dos paneles fotovoltaicos, el uno de material policristalino y el otro es de monocristalino.

Ya que en el programa se seleccionan los paneles por la potencia pico, se escogió para los dos paneles el valor de 250 Wp; los resultados obtenidos mediante cálculo y de simulación salieron parecidos; en el caso del panel policristalino se muestran los resultados en la TABLA 2.8 y del panel monocristalino en la TABLA 2.9

TABLA 2.8 Comparación de los elementos calculados con el simulado

Elemento	Calculado	Simulado
Panel fotovoltaico	250 Wp	250 Wp
Número de paneles	1	1
Batería	172.32 Ah	169 A/h
Corriente del controlador	22.5 A	23 A

Elaborado: El Autor

TABLA 2.9 Comparación de los elementos calculados con el simulado

Elemento	Calculado	Simulado
Panel fotovoltaico	250 Wp	250 Wp
Número de paneles	1	1
Batería	172.32 Ah	169 A/h
Corriente del controlador	22.5 A	23 A

Elaborado: El Autor

Como se muestra en la TABLA 2.8 y en la TABLA 2.9, la simulación con los cálculos teóricos realizados no tiene mayor diferencia.

2.6 Selección de los componentes del sistema fotovoltaico

Según los cálculos realizados antes, se determina que cada poste tendrá su propio sistema fotovoltaico; es decir: panel, regulador, batería, inversor, entre otros; las fichas de los componentes seleccionados están en el Anexo C.

2.6.1 Selección del panel fotovoltaico

De acuerdo al cálculo realizado, la potencia pico del panel fotovoltaico debe ser menor a 268.5 Wp, para lo cual se escoge un panel Policristalino de potencia pico 250 W. En la Fig. 17 se muestra el panel seleccionado y en la TABLA 2.10 las principales características.



Fig. 17 Panel Solar Policristalino

TABLA 2.10 Parámetros técnicos del panel fotovoltaico

Potencia máxima nominal (Pmax)	250W
Tolerancia de potencia	0 ± 5 W
Voltaje (Vpm)	30.50V
Eficiencia	15.1%
Peso	20 kg
Dimensión l*a*g	1652*1000*35 mm

Elaborado: El Autor

La TABLA 2.10 indica que el panel policristalino puede entregar como potencia máxima 250 W, con un rango de tolerancia de 0 a ± 5 W, con un voltaje 30.50 V, que posee una eficiencia de 15.51%, pesa 20 kg y sus dimensiones son de largo 1652 mm de ancho, 1000 mm y 35 mm de grosor.

2.6.2 Selección del acumulador

De acuerdo al cálculo resulta 172.32 Ah, por lo tanto, la batería adecuada es de 200 AH que se muestra en la Fig. 18, cuyas características eléctricas se presentan en la siguiente TABLA 2.11.



Fig. 18 Acumulador de 200 AH

TABLA 2.11 Características de la batería netion

Capacidad 25° C	10 h	200 AH
Resistencia interna	Totalmente cargada	3.8m Ω
Terminal	T11	

Elaborado: El Autor

Para este tipo de baterías, la TABLA 2.11 indica que para completar la carga de 200 AH, con una temperatura de 25°C, necesita de 10 a 20 horas y cuando llega a dicha carga la resistencia interna es de 3.8 m Ω; para la conexión se debe emplear un terminar T11.

2.6.3 Selección del controlador carga

Para este diseño se escoge el controlador de 30 A que tiene la opción de la conexión a paneles fotovoltaicos e inversor; el mismo se muestra en la Fig. 19. Este tipo de inversor tiene la posibilidad de controlar la carga de las baterías en las horas deseadas. El modelo seleccionado presenta las siguientes características eléctricas reflejadas en la TABLA 2.12



Fig. 19 Controlador de Carga Binen

TABLA 2.12 Características del controlador de carga

Parámetro	Valor
Capacidad	30 A
Especificaciones de salida	
Gestión de carga	PWM
Voltaje a controlar	12/ 24 VDC
Protección	Contra: Cortocircuitos Circuito abierto Protección inversa Sobrecarga.

Elaborado: El Autor

En la TABLA 2.12

TABLA 2.12 se indica que el controlador de carga tiene una capacidad de 30 A y el tipo de controlador es PWM; el voltaje a controlar es de 12 a 24 V en corriente directa y posee algunas protecciones.

2.6.4 Selección del Inversor

El inversor seleccionado es uno de 375 VA, como se observa en la Fig. 20; las características eléctricas se presentan en la TABLA 2.13



Fig. 20 Inversor de 375 VA

TABLA 2.13 Características eléctricas del inversor de 375 VA

Parámetros	Valores
Potencia a 25°C	375 VA
Tensión/ frecuencia CA	230 VCA o 120 VCA 50 Hz o 60 Hz
Tensión de entrada	9.2 -17 V
Eficacia max	89 a 90%
Sección de cable máxima	8 AWG
Peso	3.0 kg
Dimensiones (al*an*p en mm)	86*165*260

Elaborado: El Autor

En la TABLA 2.13 se aprecia que el inversor, a una temperatura de 25°C, puede proveer como potencia aparente 375 VA y puede entregar en corriente alterna de 120 a 230 VCA, con una frecuencia de 60 HZ, presenta un rendimiento de 89 a 90% y es necesario un cable 8 AWG para su conexión.

2.6.5 Selección de las protecciones

La corriente de la protección, aplicando la Ecuación (14), dio 11.56 (A). Para la protección desde el módulo fotovoltaico al regulador de carga, se debe colocar una protección de 15 A como mínima.

2.7 Diseño del sistema fotovoltaico

Para el diseño del sistema fotovoltaico se presenta el diagrama eléctrico, la elección del material del poste, con su respectivo anclaje, y el diseño del parque con el sistema fotovoltaico.

2.7.1 Esquema eléctrico del sistema de iluminación fotovoltaico

El esquema eléctrico del sistema fotovoltaico con iluminación se presenta en el Anexo D.

2.7.2 Selección del poste de alumbrado público

De acuerdo a la clasificación de alumbrado público de la ARCENNER, el proyecto es un alumbrado público ornamental. En la TABLA 2.14 se encuentran las características de los postes de metal, según CONDENA.

TABLA 2.14 Características de los postes metálicos

Descripción	Diámetro de la cima [mm]	Diámetro de la base [mm]	Espesor de la lámina[mm]
Poste 9 m	127	190	3
Poste 10 m	127	190	3
Poste 12 m	127	190	3

Fuente: CONDENA,2019

De acuerdo a la altura de las luminarias, las dimensiones del poste deben ser las de 10 m de alto.

2.7.3 Anclaje de poste

Para que el poste metálico sea izado es fundamental que esté correctamente anclado, para ello se tiene que tomar el peso y la altura de la luminaria (Mamani,2017). Para ello, el MERNNR propone la siguiente cimentación vista en la Fig. 21.

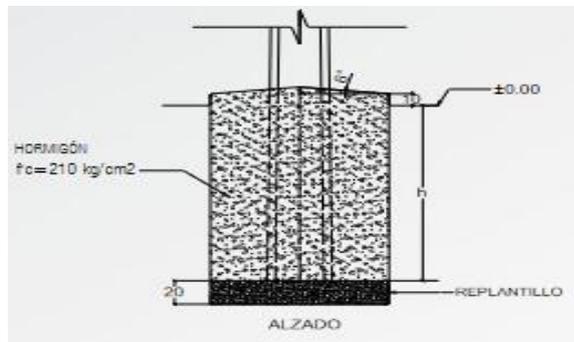


Fig. 21 Cimentación para postes metálicos

Fuente: (MERNNR, 2019)

La altura de la cimentación con el replantillo es de 170 cm, la base de la cimentación debe tener 140 cm de ancho y 100 cm de largo, la punta será tipo diamante con un ángulo de 6°. El diseño del poste con el sistema fotovoltaico se muestra en las, Fig. 22.



Fig. 22 Diseño de poste con módulo fotovoltaico, vista lateral derecha, vista lateral izquierda, vista personalizada

Elaborado: El Autor

La Fig. 22. muestra el parque de Quichinche con el diseño del alumbrado ornamental, aplicando el sistema fotovoltaico.



Fig. 23 Diseño del Parque de Quichinche con el sistema Fotovoltaico

Fuente: El Autor

2.8 Diseño hacia la red de distribución de baja tensión

Diseñado el alumbrado ornamental con la aplicación del sistema fotovoltaico, se procede a realizar el cálculo de la carga, conductor y caída de voltaje que va a la red de distribución de bajo voltaje.

2.8.1 Dimensionamiento del conductor hacia la red de distribución

Como el alumbrado ornamental va hacer parte de la red de distribución de baja tensión, se calcula el valor de la carga por circuitos.

2.8.1.1 Dimensionamiento de la carga

Para el cálculo de la carga, se subdivide el alumbrado ornamental por circuitos, aplicando la Ecuación (15); los mismos están detallados en la TABLA 2.15.

TABLA 2.15 Carga del parque por circuitos

Circuitos	Potencia luminaria [W]	Número de luminarias	Carga [W]
Circuito 1 Perímetro calle Bolívar	217	2	434
Circuito 2 Perímetro calle Carlos Jara	217	2	434
Circuito 3 Perímetro calle Sucre	217	2	434
Circuito 4 Perímetro calle Guzmán	217	2	434
Circuito 5 Postes internos	92	4	368
Circuito 6 Reflectores para tolas	38	15	570
Circuito 7 Luminaria para piso	26.2	26	681.2

Fuente: El Autor

Con la carga que se muestra en la TABLA 2.15 se obtiene la corriente por cada circuito.

2.8.1.2 Cálculo de la corriente y sección del conductor

Aplicando la Ecuación (16), considerando la potencia de cada circuito presentada en la TABLA 2.15, usando como tensión 220 V y un factor de potencia de 0.9 se obtuvo el cálculo de la corriente de cada circuito que se refleja en la TABLA 2.16.

TABLA 2.16 Corriente que tiene cada circuito

Circuitos	Corriente (A)
Circuito 1 Perímetro calle Bolívar	2.19
Circuito 2 Perímetro calle Carlos Jara	2.19
Circuito 3 Perímetro calle Sucre	2.19
Circuito 4 Perímetro calle Guzmán	2.19
Circuito 5 Postes internos	1.85
Circuito 6 Reflectores para tolas	2.87
Circuito 7 Luminaria para piso	3.44

Fuente: El Autor

Teniendo la dimensión de la corriente que debe soportar el conductor por cada circuito, se seleccionó el cable más adecuado que soporte dicha corriente. En la TABLA 2.17 se muestra el calibre del conductor a usar.

TABLA 2.17 Sección del cable por circuitos

Circuitos	Conductor
Circuito 1,2,3,4,5	Cable 8 TTU
Circuito 6	Cable 14 THHN
Circuito 7	Cable 14 THHN

Fuente: El Autor

En la TABLA 2.17, el cableado de los circuitos 1 al 5 y 7 irá por la misma tubería y los demás circuitos por tuberías diferentes.

2.8.1.3 Cálculo de la caída de tensión

Para el cálculo de la caída de tensión se emplea la Ecuación (17). Para todos los casos la conductividad es de 56 (m/ $\Omega \cdot \text{mm}^2$) y la tensión es de 220 (V). El cálculo de la caída de tensión se refleja en la TABLA 2.18.

TABLA 2.18 Cálculo de la caída de tensión

Circuitos	Potencia [W]	Longitud [m]	Sección de conductor [mm ²]	Caída de tensión [V]
Circuito 1,2,3,4,5	2104	200	8.37	4.08
Circuito 6	570	97.77	2.08	2.17
Circuito 7	681.2	132.91	2.08	3.53

De acuerdo con la TABLA 2.18, la caída de tensión para cada circuito es aceptable, ya que no excede de 4.4 (V) que el 2 % de 220 (V).

2.8.2 Diseño del sistema de alumbrado ornamental con sistema fotovoltaico y la red

En el Anexo F se observa el circuito de fuerza y control para el alumbrado ornamental del parque de Quichinche; para ello, se necesita un interruptor horario digital, el cual conectará las luminarias en los postes a la red de distribución de bajo voltaje. Para el resto de la iluminación del parque se debe poner otro interruptor horario que debe ir desde las 18:00 a 6:00, para su adecuado funcionamiento.

La conexión del alumbrado ornamental con sistema fotovoltaico y la red se encuentran en el Anexo G.

CAPÍTULO 3

3 Estudio económico de la implementación del generador fotovoltaico en el alumbrado ornamental

Uno de los objetivos es el estudio económico y ambiental del sistema fotovoltaico después de su implementación; por ello, en este capítulo se muestra la inversión que se requiere en la instalación del sistema aplicado para la iluminación del parque de la parroquia San José de Quichinche, tomando en cuenta los precios actuales del mercado para el sistema seleccionado; cabe señalar que no se consideran valores de importación, ya que los equipos y materiales se encuentran en el país.

3.1 Metodología del análisis económico

Para finalizar el proyecto se presenta el análisis económico del sistema fotovoltaico diseñado, con el objetivo de determinar la viabilidad y la factibilidad del mismo para su posible implementación, para ello se ha desarrollado la siguiente metodología:

a) Método inductivo

Este método se utiliza para analizar y comparar los costos económicos del sistema de alumbrado ornamental sin sistema fotovoltaico, con la aplicación del mismo sistema.

3.2 Formulación matemática para la viabilidad del proyecto

La viabilidad económica se establece como cualquier proyecto de inversión, determinando el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de rentabilidad (TIR), en función del diseño realizado. A continuación, se describe cada uno.

3.2.1 Valor actual neto

Con la finalidad de determinar si el proyecto en el futuro aumentará o disminuirá su valor económico, se utiliza la técnica llamada valor actual neto (VAN), representado por la Ecuación (18), que consiste en sumar todos los flujos de caja de cada año y restarlos por la inversión, tomando en cuenta la tasa de interés de retorno. (Carrillo et al., 2019)

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Vt}{(1+k)^t} - I_0 \quad (18)$$

Donde:

n: número de período considerado.

Vt: flujo de caja de cada período.

k= interés

Io= valor de inversión

3.2.2 Tasa interna de rentabilidad

La Tasa Interna de Rentabilidad (TIR) es una herramienta utilizada para evaluar la viabilidad de proyectos con financiamiento económico. La TIR es el porcentaje de rendimiento a futuro de una inversión, pero utilizando un VAN igual o superior a cero; además, se debe tener en consideración los siguientes criterios: (Perez, 2017)

a) El proyecto es aceptable si el TIR obtenido da como resultado un VAN de cero o mayor.

b) El proyecto no es aceptable si el TIR encontrado es con un VAN menor de cero.

Flores, 2016 propone usar la Ecuación (19)

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Q}{(1 + TIR)^t} - A = 0 \quad (19)$$

Donde:

VAN: valor actual neto

n: número de períodos

Q: flujo de caja de caja período

A: inversión inicial

3.2.3 Periodo de recuperación

Se aplica el período de recuperación o payback en el proyecto para establecer la cantidad de años necesarios para recuperar la inversión preliminar o inicial, por lo tanto, se plantea la Ecuación (20) (Sapag et al., 2014)

$$Pr = \frac{Io}{BN} \quad (20)$$

Donde:

PR: periodo de recuperación

Io: inversión inicial

BN: flujo de caja

3.3 Energía resultante

Para calcular la energía mensual total se consideró 30 días al mes y se utiliza la Ecuación (21). (Mamani, 2017)

$$ET_{mes} = nl * 30 * Pmax \quad (21)$$

Donde:

ET_{mes}: energía consumida al mes (Wh/mes)

nl: número de luminarias

Pmax: potencia máxima (Wh/día)

3.4 Ahorro de energía Anual

Para determinar el ahorro de energía anual se aplica la Ecuación (22)

$$CE_A = ET_{mes} * CP \quad (22)$$

Donde:

CE_A : es el costo de energía anual del sistema de iluminación.

ET_{mes} : energía total generada al mes (Wh/mes).

CP: es el precio de energía para sistemas de iluminación.

3.5 Viabilidad ambiental

Para establecer cuál es el ahorro de emisión de CO_2 al utilizar el sistema fotovoltaico se utiliza la Ecuación (23), la cual determina que se puede cuantificar la contaminación ambiental conociendo la potencia fotovoltaica diaria, el tiempo de producción o de generación y el factor marginal de emisión de gases. (Oscullo & Haro, 2016)

$$DCO_2 = 0.645 * Pe \quad (23)$$

Donde:

DCO_2 : disminución del CO_2

Pe = energía eléctrica (ton CO_2/kWh)

3.6 Estudio técnico económico

Pérez, 2019 menciona que, para el estudio económico del sistema de iluminación con implementación fotovoltaica, se debe calcular el tiempo de retorno de inversión, considerando de entre 15 a 30 años la vida útil estimada. Entre los factores a tomar en cuenta para el cálculo de la inversión del sistema fotovoltaico constan:

- a) Costo del equipamiento necesario para el sistema de iluminación.
- b) Mano de obra y montaje.
- c) Mantenimiento.
- d) Costo de mano de obra.

Para el costo de mano de obra y montaje se considera el 10% del subtotal y del mantenimiento se considera el 1% del mismo subtotal.

3.6.1 Inversión del sistema fotovoltaico

En esta sección se tiene el total de la inversión del sistema fotovoltaico, utilizando los equipos seleccionados en el capítulo 2. El detalle de la inversión se muestra en la TABLA 3.1

TABLA 3.1 Costo del alumbrado ornamental con el sistema fotovoltaico

Ítem	Descripción	Cantidad	Precio unitario \$	Precio total \$
1.	Luminaria Led 128 W	10	\$130.00	\$1,300.00
2.	Luminaria Led 89 W	8	\$74.98	\$599.84
13.	Interruptor termomagnético	1	\$100.00	\$100.00
14.	Panel fotovoltaico 250 Wp	8	\$150.00	\$1,200.00
15.	Batería 200 A/h	8	\$568.00	\$4,544.00
16.	Controlador	8	\$15.00	\$120.00
17.	Inversor 375 VA	8	\$121.55	\$972.40
19.	Gabinete metálico	8	\$19.88	\$159.04
20.	Soporte para panel fotovoltaico	8	\$41.53	\$332.24
21.	Cable AWG 12	24	\$0.47	\$11.28
22.	Cable AWG 6	48	\$1.25	\$60.00
23.	Cable AWG 10	24	\$0.62	\$14.88
Subtotal1				\$9,413.68
Mano de obra 10%				\$941.37
Mantenimiento 1%				\$94.14
Subtotal 2				\$10,449.19
Iva 12%				\$1,253.90
Total				\$11,703.09

Fuente: El Autor

Como se muestra en la TABLA 3.1, si aplicaría el sistema fotovoltaico al alumbrado ornamental del parque, se invertirían \$11,703.09 dólares americanos.

3.6.2 Análisis de ahorro de energía

Para el análisis del ahorro energético, se realizó la comparación del alumbrado ornamental común, con el alumbrado ornamental con el sistema fotovoltaico como apoyo en las horas pico. Para ambos casos se asumirá las horas que van a estar conectadas las luminarias a la red.

3.6.2.1 Ahorro mensual y anual

Para calcular el ahorro mensual, primero se debe conocer el consumo de cada luminaria sin el sistema fotovoltaico y con el mismo; esto se muestra en la TABLA 3.2 y en la TABLA 3.3.

TABLA 3.2 Energía al mes, alumbrado ornamental común.

Potencia de las luminarias (W)	Cantidad	Horas de uso diario	Energía mensual (kWh/mes)
128	10	12	460.8
89	8	12	256.32
Total			717.12

TABLA 3.3 Energía al mes alumbrado ornamental con apoyo del sistema fotovoltaico.

Potencia de las luminarias (W)	Cantidad	Horas de uso diario	Energía mensual (kWh/mes)
128	10	8	307.2
89	8	8	170.88
Total			478.08

Fuente: El Autor

Para determinar el ahorro económico es necesario recurrir al pliego tarifario, por ello en la Fig. 24 se muestra una parte del pliego con el que se va a trabajar.

CATEGORÍA	GENERAL	
NIVEL VOLTAJE	BAJO VOLTAJE SIN DEMANDA	
1-300 Superior	COMERCIAL	
		0,092 0,103
1-300 Superior	E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS, SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES	
		0,082 0,093
1-300 Superior	BOMBEO AGUA	
		0,072 0,083
1-300 Superior	BOMBEO AGUA SERVICIO PÚBLICO DE AGUA POTABLE	
		0,058 0,066
1-300 Superior	INDUSTRIAL ARTESANAL	
		0,073 0,089

Fig. 24 Pliego tarifario

Fuente: (ARCONEL-035/19, 2019)

Para este caso de estudio se tomó la categoría general de bajo voltaje sin demanda, y su sub categoría de servicio comunitario, ya que según descripción es el consumo de energía eléctrica para iluminación general. Por ello de la Fig. 24 se toma el valor de \$ 0.082 centavos por kWh.

De acuerdo con la TABLA 3.2

TABLA 3.2, el alumbrado ornamental común presenta un consumo mensual de 717.12 kWh/mes, dando un total de \$ 58.80 dólares americanos y, según la TABLA 3.3, la energía consumida con el alumbrado ornamental y el sistema fotovoltaico presenta un consumo de 478.08 kWh/mes, dando un total de \$ 39.20 dólares americanos, lo que representa un ahorro energético de 239.04 kWh/mes y un ahorro económico de \$ 19.60 dólares americanos.

El ahorro de energía aplicando el sistema fotovoltaico al alumbrado ornamental en las horas pico es de 2868.48 kW/anuales. Para el análisis del ahorro económico anual se presentan en la TABLA 3.4.

TABLA 3.4 Comparación del costo de la energía entre los dos sistemas

	Costo de energía anual para el a alumbrado común	Costo de energía anual para el alumbrado con SFV
	\$ 705.65	\$ 470.43
Iva 12%	\$ 84.68	\$ 56.45
Total	\$ 790.32	\$ 526.88

Fuente: El Autor

Según la TABLA 3.4 el alumbrado con el sistema fotovoltaico ahorraría económica mente al año \$ 263.44 dólares americanos.

3.7 Factibilidad Económica

Para calcular la rentabilidad del proyecto, este debe ser evaluado dentro de un periodo de 20 a 30 años que es donde los sistemas fotovoltaicos, con un debido mantenimiento, van a dar su máxima eficiencia; para ello se necesita determinar el periodo de recuperación de la inversión (PAYBACK), la tasa de recuperación (TIR) y el flujo neto de caja. En la TABLA 3.5 se muestra el estudio realizado en 30 años que es el tiempo de vida de los sistemas fotovoltaicos.

TABLA 3.5 Rentabilidad del proyecto

Número de años	Egresos o inversión (USD)	Ingresos USD	Flujo neto efectivo
0	-\$ 11,703.09		-\$ 11,703.09
1		\$ 263.44	-\$ 11,439.65
2		\$ 263.44	-\$ 11,176.21
3		\$ 263.44	-\$ 10,912.77
4		\$ 263.44	-\$ 10,649.33
5		\$ 263.44	-\$ 10,385.89
6		\$ 263.44	-\$ 10,122.45
7		\$ 263.44	-\$ 9,859.01
8		\$ 263.44	-\$ 9,595.57
9		\$ 263.44	-\$ 9,332.13
10		\$ 263.44	-\$ 9,068.69
11		\$ 263.44	-\$ 8,805.25
12		\$ 263.44	-\$ 8,541.81
13		\$ 263.44	-\$ 8,278.37
14		\$ 263.44	-\$ 8,014.93
15		\$ 263.44	-\$ 7,751.49
16		\$ 263.44	-\$ 7,488.05
17		\$ 263.44	-\$ 7,224.61
18		\$ 263.44	-\$ 6,961.17
19		\$ 263.44	-\$ 6,697.73
20		\$ 263.44	-\$ 6,434.29
21		\$ 263.44	-\$ 6,170.85
22		\$ 263.44	-\$ 5,907.41
23		\$ 263.44	-\$ 5,643.97
24		\$ 263.44	-\$ 5,380.53
25		\$ 263.44	-\$ 5,117.09
26		\$ 263.44	-\$ 4,853.65
27		\$ 263.44	-\$ 4,590.21
28		\$ 263.44	-\$ 4,326.77
29		\$ 263.44	-\$ 4,063.33
30		\$ 263.44	-\$ 3,799.89
		VAN	-\$99,238.64

Elaborado: El Autor

Como se observa en la TABLA 3.5 asumiendo solo como ingreso el ahorro monetario que representa la energía el proyecto no es viable dentro de 30 años, debido a que el VAN es negativo, por ende, no hay tasa interna de retorno, ni palyback. Por eso se debe analizar la factibilidad técnica, y la viabilidad económica ambiental.

3.7.1 Factibilidad técnica

Ya que el proyecto está en ejecución, se puede implementar los sistemas fotovoltaicos. Sin embargo, al ser considerado el parque como patrimonio histórico, es probable que las políticas y normativas públicas no permitan la construcción de este sistema moderno. Pero se lo pondría a consideración de los representantes del GAD Parroquial o del alcalde del cantón Otavalo, para que ellos determinen si se lo puede ejecutar.

3.8 Análisis de viabilidad ambiental

Según el Ministerio de Medio Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAE), los mecanismos de desarrollo limpio (MDL) tienen la finalidad de mitigar el cambio climático y en Ecuador han sido un incentivo para el cambio de la matriz energética.(MAE, 2021)

Para que el proyecto sea viable debe ser certificado dentro de los MDL, y así ser parte de los bonos de carbono, y ya que uno de los objetivos del sistema fotovoltaico es la reducción de las emisiones del CO₂, el proyecto puede entrar dentro de estas certificaciones, por eso es importante saber cuántas toneladas al año ayudaría a reducir el proyecto en cuestión, por ello se aplica la Ecuación (23) y se tiene que por la producción anual de 2868.48 kWh se disminuiría 1850.17 toneladas anuales.

3.9 Viabilidad económica – ambiental

Como se vio anteriormente en la factibilidad económica, solo tomando en cuenta el ahorro energético y monetario, el proyecto no es viable, ahora tomando en cuenta la viabilidad ambiental donde una empresa pueda utilizar los créditos de carbono para financiar parte o toda la implementación, el proyecto ya se vuelve viable.

Según El Comercio, (2018) el Ecuador recibió 13,3 millones de dólares por la reducción de 2,66 millones de toneladas de CO₂, dando el precio por tonelada de CO₂ a \$5 dólares; como en este proyecto se disminuiría 1850.17 toneladas, se tendría un ingreso de \$ 9,250.85 dólares; por ende este valor se reduce a la inversión inicial, y se procede a realizar la factibilidad técnica económica con estos nuevos valores, como se muestra en la TABLA 3.6.

TABLA 3.6 Factibilidad económico-ambiental

Número de años	Egresos o inversión (USD)	Ingresos USD	Flujo neto efectivo
0	-\$11,703.09	\$9,250.85	-\$2,452.24
1		\$263.44	-\$2,188.80
2		\$263.44	-\$1,925.36
3		\$263.44	-\$1,661.92
4		\$263.44	-\$1,398.48
5		\$263.44	-\$1,135.04
6		\$263.44	-\$871.60
7		\$263.44	-\$608.16
8		\$263.44	-\$344.72
9		\$263.44	-\$81.28
10		\$263.44	\$182.16
11		\$263.44	\$445.60
12		\$263.44	\$709.04
13		\$263.44	\$972.48
14		\$263.44	\$1,235.92
15		\$263.44	\$1,499.36
16		\$263.44	\$1,762.80
17		\$263.44	\$2,026.24
18		\$263.44	\$2,289.68
19		\$263.44	\$2,553.12
20		\$263.44	\$2,816.56
21		\$263.44	\$3,080.00
22		\$263.44	\$3,343.44
23		\$263.44	\$3,606.88
24		\$263.44	\$3,870.32
25		\$263.44	\$4,133.76
26		\$263.44	\$4,397.20
27		\$263.44	\$4,660.64
28		\$263.44	\$4,924.08
29		\$263.44	\$5,187.52
30		\$263.44	\$5,450.96
		VAN	\$161.12
		TIR	8%
		Play Back	9.45

Elaborado: El Autor

Con este análisis la inversión es de \$2,452.24 dólares americanos, valor que, según la TABLA 3.6, se recupera en 9 años, 5 meses y 12 días a una tasa interna de retorno de 8% y un VAN de \$ 161.12; por estos factores, el proyecto es ambiental y económicamente viable.

Conclusiones

- Todas las tecnologías analizadas en la investigación se encuentran definidas en función de su utilidad, ventajas, desventajas y características; además, la descripción de la clasificación del sistema de alumbrado público permitió establecer cuál se va a utilizar en el diseño del alumbrado ornamental, en el parque de San José de Quichinche.
- Para el alumbrado ornamental del parque de San José de Quichinche, luego de realizar los estudios correspondientes al recurso solar, se diseñó el sistema fotovoltaico, el cual se compone de elementos en función de las características de operación y basándose en los cálculos y simulación realizados. El resultado es un promedio de generación de 478 kWh al mes, que abastecerá a las luminarias planteadas.

- Una vez realizado el estudio económico para el alumbrado ornamental con el apoyo del sistema fotovoltaico, se determinó a pesar de que la inversión es considerable, el sistema en sí aporta un ahorro energético mensual de 239.04 kWh, y tomando en cuenta la viabilidad ambiental el proyecto se recupera en 9 años, 5 meses y 12 días a una tasa interna de retorno de 8% y un VAN de \$ 161.12; por estos factores, el proyecto es ambiental y económicamente viable.

Recomendaciones

- Ya que es una de las tecnologías que se encuentra en constante cambio y existen una gran cantidad de elementos y materiales referentes a sistemas fotovoltaicos, es necesario realizar un estudio amplio de los componentes; además, se debe tener en consideración la clasificación de los sistemas fotovoltaicos en alumbrado público, ya que se puede realizar el estudio de un sistema centralizado para una aplicación similar.
- Debido a que la radiación solar tiene gran relevancia al momento de realizar el diseño del sistema fotovoltaico, se debe utilizar fuentes o bases de datos referentes al sitio o lo más próximo, ya que esto permite que el sistema fotovoltaico esté sobredimensionado. Se sugeriría que para un estudio se realice una comparativa, aplicando mapas solares y sistemas de medición en el área del proyecto.
- El estado debe impulsar que las empresas nacionales o extranjeras puedan aplicar los créditos de carbono en este tipo de proyectos, además se invita a realizar un estudio más amplio de cómo se puede conseguir las certificaciones para que el sistema cuente como parte de los bonos de carbono.

Lista de referencias

Aarón, J., Martínez, D., De la luz Santos, R., Ortega, J., & Sánchez, P. (2017). Aplicaciones fotovoltaicas de la energía solar en los sectores residencial, servicio e industrial. En U. N. A. de Mexico (Ed.), *Instituto de Energías Renovables* (Primera Ed, Vol. 1). <http://www.fordecyt.ier.unam.mx/pdf/pdfFotoVoltaico.pdf>

Arbelaez, Y., Medina, P., & Payares, J. (2019). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACION DE SOLUCIONES ENERGETICAS INDIVIDUALES MEDIANTE PANELES SOLARES* [Tesis de postgrado de la Universidad Piloto de Colombia]. <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5071/TRABAJODEGRADO-ARBELAEZ%2CMEDINA%2C-PAYARES-GPV26.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

ARCERNNR 006-20. (2020). *Resolución Nro. ARCERNNR-029/2020, Regulacion Nro. 006/20* (pp. 1-28). <http://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/Regulacion-006-20.pdf>

ARCONEL-035/19. (2019). Pliego Tarifario Para Las Empresas Eléctricas de Distribución - Servicio Público de Energía Eléctrica. Periodo: Enero-Diciembre 2020. En *Resolución Nro. ARCONEL – 035/19* (Vol. 19, p. 35).

Arias, S. (2015). *ILUMINACIÓN Y ALUMBRADO PÚBLICO* [Tesis de postgrado, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/54043/1053814558.2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Arkarnis, A., & Sara, I. D. (2019). Retrofitting Solar Power Systems on Public Street Lightings as A Dispersed Power Plant. *International Conference on Electrical, Telecommunication and Computer Engineering, ELTICOM*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/ELTICOM47379.2019.8943851>

Arteaga, J. (2020). *Análisis de flujos de potencia en sistema solar fotovoltaico y de almacenamiento conectado a la microrred de la Universidad Autónoma de Occidente* [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma de Occidente]. <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/12403/T09260.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

ASAMBLEA NACIONAL. (2008). Constitución del Ecuador. En *Registro Oficial* (Vol. 449, Número Principios de la participación Art.). http://www.asambleanacional.gov.ec/documentos/constitucion_de_bolsillo.pdf

Aulestima, L., & Celi, M. (2017). *Implementación de un sistema de paneles de 20 kW/mes para ser utilizados en instalaciones industriales* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito]. <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>

AUTODESK. (2021). *AUTOCAD*. <https://latinoamerica.autodesk.com/products/autocad/overview?term=1-YEAR>

AutoSolar. (2018). *¿Cómo estimar el consumo en Wh/día de mi instalación?* <https://autosolar.pe/blog/aspectos-tecnicos/como-estimar-el-consumo-en-whdia-de-mi-instalacion>

Baños, R., & Pizarro, A. (2019). «*DISEÑO , INSTALACIÓN , OPERATIVIDAD Y MANTENIMIENTO DE LUMINARIAS LED PARA ALUMBRADO PÚBLICO*» [Tesis de

pregrado, Escuela Superior Politécnica del Litoral].
<http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/47748>

Bayod Rújula, Á. A. (2009). *Energías renovables: sistemas fotovoltaicos* (Prensas de la Universidad de Zaragoza (ed.)). <https://elibro.net/es/ereader/utnorte/41940?page=57>.

Bejarano, N. (2011). *Diseño de un sistema de generación eléctrica solar para la iluminación externa del modular de la escuela de ingeniería en Ecoturismo* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
<http://dspace.esoch.edu.ec/handle/123456789/1884>

Bohorques, L., & Beltran, E. (2014). *Prefractibilidad para la implementación de sistema de alumbrado público energizado por medio de energía solar fotovoltaica* [Tesis de pregrado, UNIAGRARIA]. https://issuu.com/maosabo/docs/tesis_0020

Bravo, V., & Rendón, L. (2015). *Propuesta de normativa de iluminación para zonas recreativas y deportivas de la ciudad de Quito, realizando un estudio técnico-Económico con la situación actual* [Tesis de pregrado, Escuela Politecnica Nacional].
<https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/10732>

Burdick, J., & Schmidt, P. (2017). *Install your own solar panels: designing and installing a photovoltaic system to power your home* (S. Publishing. (ed.)).

Carrillo, D., Vega, V., & Alcívar, S. (2019). *Formulación y evaluación de proyectos de inversión* (XEROX (ed.); Primera ed). <https://www.researchgate.net/publication/343106204>

Cevallos-Sierra, J., & Ramos-Martin, J. (2018). Spatial assessment of the potential of renewable energy: The case of Ecuador. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(July 2016), 1154-1165. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.015>

Chávez, M. (2012). *PROYECTO DE FACTIBILIDAD PARA USO DE PANELES SOLARES EN GENERACIÓN FOTOVOLTAICA DE ELECTRICIDAD EN EL COMPLEJO HABITACIONAL "SAN ANTONIO DE RIOBAMBA"* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Recuperado de].
<http://dspace.esoch.edu.ec/handle/123456789/2478>

CONELEC. (2008). Atlas solar del ecuador. En *Conelec*.
http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/Atlas.pdf

Correa, H., & Gonzáles, V. (2018). *"DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA N°287 DE LA COMUNIDAD NATIVA VILLA GONZALO, DISTRITO RÍO*

SANTIAGO, PROVINCIA CONDORCANQUI, DEPARTAMENTO DE AMAZONAS [Tesis de pregrado, UNIVERSIDAD NACIONAL "PEDRO RUIZ GALLO"]. <https://1library.co/document/q2nxj0jq-fotovoltaico-autonomo-generacion-electrica-institucion-comunidad-condorcanqui-departamento.html>

EERSSA. (2012). *Normas técnicas para el diseño de redes eléctricas urbanas y rurales* (p. 67). http://www.eerssa.gob.ec/eerssa/lotaip/2017/noviembre/archivos/a3/Normas_tecnicas_para_el_diseno_de_redes_electricas_urbanas_y_rurales.pdf

El Comercio. (2018). *Ecuador recibe USD 13,3 millones por reducir la deforestación*. <https://www.elcomercio.com/tendencias/ambiente/ecuador-compensacion-reduccion-deforestacion-contaminacion.html>

ESCOTEL. (2014). *Luminarias Lamparas postes solares alumbrado publico iluminacion de areas urbanas*. http://www.esco-tel.com/luminarias_solares_para_alumbrado_publico.html

Flores, G. (2016). *Factibilidad del sistema de alumbrado público empleando luminarias LED y alimentación solar fotovoltaica* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana SEDE QUITO]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/12213>

Freire, F., & Gordillo, M. (2013). *Alternativas de iluminación para el parque el Paraiso de la ciudad de Cuenca* [Tesis de grado, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/345>

García, C. (2015). *Simulación de instalaciones fotovoltaicas con pvsyst*. http://tauja.ujaen.es/bitstream/10953.1/4226/1/TFG_Carlos_García_Castro.pdf

Gómez, J. M. (2015). *Guía de mantenimiento en instalaciones fotovoltaicas* (Ediciones Experiencia (ed.)).

Guerrero, A., Ruvalcaba, J., & Vazquez, I. (2016). *Propuesta de alumbrado con iluminación tipo led y paneles fotovoltaicos «estacionamiento de la DAE (dirección de administración escolar) del I.P.N.»* [Tesis de grado, del Instituto Politécnico Nacional]. <https://bit.ly/2CSbAJj>

Hernández, R. (2017). *NÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA LIMPIA MEDIANTE CELDAS FOTOVOLTAICAS PARA LA ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA DEL EDIFICIO 4 EN EL ITSLV*. [Tesis de posgrado del Centro de Tecnología Avanzada].

[https://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1020/97/1/HernandezGallegosRodolfo MMANAV 2017.pdf](https://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1020/97/1/HernandezGallegosRodolfo%20MMANAV%202017.pdf)

Higuera, J. M. (2013, julio 10). *El alumbrado público solar llegó a Colombia*. <https://www.portafolio.co/economia/finanzas/alumbrado-publico-solar-llego-colombia-79616>

Innovación y Cualificación S. L. (2017). *Montaje mecánico en instalaciones solares fotovoltaica*. (IC Editorial (ed.); Segunda Ed). <https://elibro.net/es/ereader/utnorte/45102?page=16>.

La guía solar. (s. f.). *Tipos de baterías solares*. <http://www.laguiasolar.com/tipos-de-baterias-solares/>

La Mañana. (2011). *Primer alumbrado público alimentado a energía solar en Argentina*. <https://www.renovablesverdes.com/primer-alumbrado-publico-alimentado-a-energia-solar-en-argentina/>

Llivicura, P. (2017). *Estudio de Factibilidad de Alumbrado Público con Energía Fotovoltaica para sistemas Aislados con el uso de Tecnología LED* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana SEDE Cuenca]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14822/4/UPS-CT007277.pdf>

MAE. (2021). *Mecanismo para un Desarrollo Limpio*. http://suia.ambiente.gob.ec/?page_id=990

Mamani, J. (2017). *Diseño Y Cálculo De Sistema De Energía Fotovoltaico Para La Iluminación Publica Del Malecon Turístico De La Playa La Meca-Tacna* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/5096/ELmaluji.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Mejía, E. (2018). *Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para el suministro de energía eléctrica al laboratorio de ingeniería mecánica de la Universidad Politécnica Amazónica* [Tesis de pregrado de la Universidad Politécnica Amazónica]. <http://repositorio.upa.edu.pe/handle/UPA/7>

MERNNR. (s. f.). *Eficiencia Energética en el Sector Público*. <http://historico.energia.gob.ec/eficiencia-energetica-en-el-sector-publico/#:~:text=En el Ecuador el alumbrado,las cuales se detallan en>

MERNNR. (2019). *Homologación de las unidades de propiedad (up) y unidades de construcción (uc) del sistema de distribución eléctrica*.

Mineiro Sá Junior, E., Daher, S., Antunes, F., Cícero, C., Silvia, K., & Figueira, R. (2007). Photovoltaic System For Supplying Public Lighting As Peak Demand Shaving. *Eletrônica de Potência*, 12(2). <https://doi.org/10.18618/rep.2007.2.113120>

Mon, N., & Htet, Z. (2014). Design of Stand-Alone Solar Street Lighting System with LED. *International Journal of Scientific Engineering and Technology Research*, 03(17), 3518-3522.

Monosolar. (2019). *¿Cómo funcionan los reguladores de carga solares PWM y MPPT?* <https://www.monsolar.com/blog/como-funcionan-los-reguladores-de-carga-solares-pwm-y-mppt/>

Mora, J. (2018). *Optimización de iluminación de parques conforme la norma RTE INEN 069 basado en restricciones fotométricas* [Trabajo de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana SEDE Quito]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16067>

NASA. (2020). *Datos de radiación de las coordenadas geográficas 0.2369,-78.2879*. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

Oscullo, J., & Haro, L. (2016). Factor Anual de Emisión de CO2 Producido por el Parque Generador del Sistema Nacional UNFCCC, para el periodo 2009-2014. *Revista Politécnica*, 37(1). https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/664

Parrales, M. (2020). *Estudio de factibilidad del sistema de iluminación led mediante energía solar para la renovación del área deportiva universitaria y de la carrera de ingeniería en computacion y redes de la Universidad Estatal del Sur de Manabi* [Tesis de grado, Universidad del Sur de Manabi]. http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/2257/1/PARRALES_PINCAY_MARJORIE_ALEXANDRA.pdf

Perez, A. (2017). *Proyecto de viabilidad del negocio o microempresa*. CPE, S.L.

Pérez, J. (2019). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN FOTOVOLTAICO MEDIANTE TECNOLOGÍA LED PARA EL PARQUE CENTRAL DE LA PROVINCIA DE JAÉN - CAJAMARCA*. Tesis de grado, Universidad Nacional de Jaén.

Planas, O. (2015). *BATERÍAS SOLARES*. <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/baterias-solares>

Programa de las Naciones Unidas para el medio Ambiente. (2016). *Aceleración de la adopción mundial de la iluminación energética eficiente*. <https://united4efficiency.org/wp-content/uploads/2017/04/Lighting-Policy-Guide-Spanish-20180201.pdf>

Pulla, G. (2013). *Evaluación Energética Del Alumbrado Público En La Ciudad De Cuenca* [Tesis de post grado; Universidad de Cuanca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/3695>

Quinto, C. (2018). *Contrucción de un cargador eléctrico a partir de energía solar para dispositivos electrónicos ESFOT-EPN*.

Reginaldo De Britto, J., Romualdo Da Silva, F. V., Alvez Coelho, E. A., De Freitas, L. C., Farias, V. J., & João Batista, V. J. (2010). Proposal of a DC-DC converter with wide conversion range used in photovoltaic systems and utility power grid for the universal voltage range. *Conference Proceedings - IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition - APEC*. <https://doi.org/10.1109/APEC.2010.5433551>

Sapag, N., Sapag, R., & Sapag, J. M. (2014). *Preparación y evaluación de proyectos* (MC.GRAW HILL (ed.); Sexta).

SERIE EVOLUTION. (s. f.). *Inversor/Cargador*. www.samlexamerica.com/evo

SOLINC. (2021). *¿Que son las Luminarias solares?* <https://solinc.com.mx/blog/poste-solar/que-son-las-luminarias-solares/>

Supra. (2018). *Iluminación*. <https://supradesarrollos.com/portfolio/la-importancia-de-un-buen-diseno-de-luminarias-en-los-parques/>

Tecnología. (s. f.). *REGULADOR DE CARGA SOLAR*. <https://www.areatecnologia.com/electricidad/regulador-de-carga-solar.html>

Tobajas, C. M. (2014). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. (Cano Pina (ed.)). <https://elibro.net/es/ereader/utnorte/43053?page=1>

Tobajas Vázquez, C. (2018). *Energía solar fotovoltaica* (Cano Pina (ed.)). <https://elibro.net/es/ereader/utnorte/45047?page=11>.

Tribunal Contitucional de la república del Ecuador. (2015). *Ley orgánica de servicio de*.

Universidad Complutense Madrid. (2021). *DIALux*. <https://www.ucm.es/pimcd2014-free-software/dialux>

Vaca, D., & Revelo, F. (2019). Mapa solar del Ecuador. *SCINERGY*.
https://www.ingenieriaverde.org/wp-content/uploads/2020/01/Mapa_Solar_del_Ecuador_2019.pdf

Vargas, C. (2015). *CONTROL INTELIGENTE DE ILUMINACIÓN FOTOVOLTAICA PARA AUTOPISTAS EN ECUADOR* [Tesis de grado, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL].
<http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/15082>

Vargas, C., Guamán, J., Rodríguez, K., & Ríos, A. (2017). Sistema de Iluminación Fotovoltaico en el Alumbrado Público Gestionado a través de una Plataforma Cloud/GIS. *Revista Politécnica*. http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-01292017000100059&lng=es&nrm=iso

Vargas, C., Guevara, D., & Ríos, a. (2015). Viabilidad económica del control de la iluminación fotovoltaica en autopistas del Ecuador. *Maskana*.

Vélez Sarmiento, J. A., & Figueroa Quimbayo, J. A. (2015). *Diseño de un sistema de alumbrado público con suministro de energía solar fotovoltaica en la urbanización Valle Del Sol Girardot – Cundinamarca*. [Tesis de pregrado, Corporación Universitaria Minuto de Dios].
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Anexos

Anexo A: Tablas de la regulación ARCERNNR 006/20

Para la iluminación adecuada en vías y parques, en la regulación ARCERNNR 006/20 presenta la clasificación de las vías para tráfico motorizado y peatonal.

Para vías con tráfico motorizado se clasifican de M1 a M5, que son seleccionadas conforme a la función de la vía pública, densidad de tráfico, complejidad del tráfico, entre otros factores que se muestran en la TABLA A 1:

TABLA A 1 Clases de alumbrado para diferentes tipos de vías publicas

Descripción de la vía		Tipo de iluminación
Vías de alta velocidad, con pistas separadas libres de intersecciones al mismo nivel y con accesos completamente controlados, autopistas, autovías. Con densidad de tráfico y complejidad de circulación	Alta con más de 1000 vehículos/hora	M1
	Media con tráfico de 500 y 1000 Vehículos /hora	M2
	Baja entre 150 y menos de 500 vehículos /hora	M3
Vías de alta velocidad, vías con doble sentido de circulación. Con control de tráfico y separación de diferentes usuarios de la vía.	Pobre	M1
	Bueno	M2
Vías urbanas de tráfico importante, carreteras radiales. Con control de tráfico y separación de diferentes usuarios de la vía	Pobre	M2
	Bueno	M3
Vías secundarias de conexión, carreteras distribuidoras locales, vías de acceso principales residenciales, carreteras que proporcionan acceso a propiedades y conducen a conexiones de carreteras	Pobre	M4
	Bueno	M5

Fuente: (ARCERNNR 006-20, 2020)

Elaborado: El Autor

- **Parámetros fotométricos para vías con tráfico motorizado**

Los parámetros fotométricos para tráfico motorizado (M1 al M5) se definen en las TABLAS, TABLA A 2, TABLA A 3, TABLA A 4, TABLA A 5:

Conocidas las características de las vías y sus requerimientos visuales, se deberá asignar la clase de iluminación necesaria. A cada clase de iluminación se le establecen los requisitos fotométricos mínimos mantenidos a través del tiempo, los cuales se condensan en la TABLA A 2 para luminancia, cuando este es el criterio aplicado.

TABLA A 2 Luminancia de calzada para tráfico motorizado

Clase de iluminación	Campo de Aplicación				
	Todas las vías		Vías sin o con pocas intersecciones	Vías con aceras no iluminadas para clase P1 a P4	
	Luminancia promedio L_{av} (cd/m ²) mínimo mantenido	factor de uniformidad U_0 Mínimo		TI% Máxima inicial	Factor de uniformidad longitudinal de luminancia UL mínimo
M1	2,0	0,4	10	0,7	0,5
M2	1,5	0,4	10	0,7	0,5
M3	1,0	0,4	10	0,7	0,5
M4	0,8	0,4	10	NR	NR
M5	0,6	0,4	10	NR	NR

Fuente: (ARCERNR 006-20, 2020)

Elaborado: El Autor

TABLA A 3 Valores mínimos de iluminación promedio (lx) en vías motorizadas que se deben mantener.

Clasificación de iluminación	Valor promedio (mínimo a mantener) de iluminancia según tipo de superficie de la vía (lx)			Uniformidad de la iluminancia Emin/Eprom (%)
	R1	R2y R3	R4	
M3	12	17	15	34%
M4	8	12	10	25%
M5	6	9	8	18%

Fuente: ARCERNR

TABLA A 4 Características de la superficie

Clase	Características de la superficie
R1	Superficies de asfalto con un mínimo de 15% de materiales reflectivos o materiales artificiales claros o al menos un 30% de anortositas muy brillantes. Superficies que contienen grava que cubre más del 80% de la superficie de la calzada, y las gravas constan de gran cantidad de material claro, o reflectivo o están compuestas al 100% de anortositas muy brillantes. Superficies de calzada de hormigón de concreto.
R2	Superficies con textura rugosa que contiene agregados normales. Superficies asfálticas (pavimentos bituminosos que contiene el 10 % al 15% de a brilladores artificiales. Hormigón bituminoso grueso y rugoso, rico en gravas (más del 60%) de tamaños mayores a 10mm. Asfalto mastico después de ser tratado. Se conoce también como asfalto mastico en estado nuevo.
R3	Revestimiento en hormigón (asfalto frío, asfalto cemento) con tamaño superior a 10mm, con textura rugosa. Superficies tratadas con textura rugosa pero pulimentada.
R4	Asfalto mastico después de varios meses de uso. Superficies con textura bastante suave pulimentada.

Fuente: (ARCERNR 006-20, 2020)

Elaborado: El Autor

TABLA A 5 Clases de iluminación para diferentes tipos de vías en áreas peatonales y ciclistas

Clase de Iluminación	Descripción del uso de la calzada
P1	Vías de gran importancia.
P2	Utilización nocturna intensa por peatones y ciclistas.
P3	Utilización nocturna moderada por peatones y ciclistas.
P4	Utilización nocturna baja por peatones y ciclistas, únicamente asociada a las propiedades adyacentes.
P5	Utilización nocturna baja por peatones y ciclistas, únicamente asociada a las propiedades adyacentes. Importante mantener el lugar o el carácter arquitectónico del entorno.
P6	Utilización nocturna muy baja por peatones y ciclistas, únicamente asociada a las propiedades adyacentes. Importante preservar el carácter arquitectónico del ambiente.

Fuente: (ARCERNR 006-20, 2020)

Elaborado: El Autor

- **Parámetros fotométricos para tráfico peatonal**

Los parámetros fotométricos para tráfico motorizado (P1 al P6), se definen en la TABLA A 6.

TABLA A 6 Requisitos mínimos de iluminación para tráfico peatonal

Clase de iluminación	Iluminación (lx)	
	Valor promedio	Valor mínimo
P1	20	7,5
P2	10	3
P3	7,5	1,5
P4	5,0	1,0
P5	3,0	0,6
P6	1,5	0,2

Fuente: (ARCERNNR 006-20, 2020)

Elaborado: El Autor

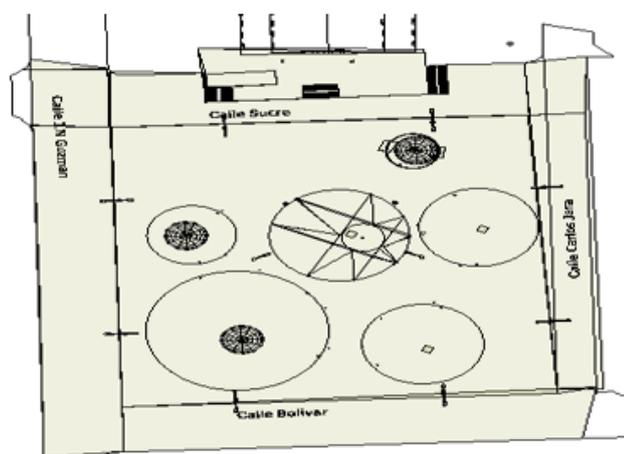
Anexo B: Cálculos de iluminación en DIALux

En el presente anexo se muestran los cálculos del alumbrado público ornamental realizados con DIALux.

Lista de luminarias

Uni.	Fabricante	Nº de artículo	Nombre del artículo	P	Φ	Rendimiento lumínico
2	PHILIPS		BBP333 1 xLED128-4S/722 PAM	100.0 W	10720 lm	107.2 lm/W
26	PHILIPS		BBP621 GC 15xLED-HB/BL MB	26.2 W	525 lm	20.0 lm/W
2	PHILIPS		BDP100 PCC 1 xLED70/830 DM	56.0 W	5275 lm	94.2 lm/W
8	PHILIPS		BPP436 T15 1 xLED110-4S/722 DM10	89.0 W	9415 lm	105.8 lm/W
10	PHILIPS		BPP436 T15 1 xLED175-4S/727 DM10	128.0 W	14519 lm	113.4 lm/W
15	PHILIPS		BVP110 1 xLED42/NW OFA52	38.0 W	4198 lm	110.5 lm/W

Objetos de cálculo



Superficie de cálculo

Propiedades	E	E _{min}	E _{máx}	g ₁	g ₂	Índice
Calle Bolívar Iluminancia perpendicular Altura: 0.000 m	19.7 lx	8.35 lx	55.0 lx	0.42	0.15	S1
Calle Carlos Jara Iluminancia perpendicular Altura: 0.000 m	22.4 lx	7.14 lx	60.1 lx	0.32	0.12	S2
Calle Sucre Iluminancia perpendicular Altura: 0.000 m	21.9 lx	9.55 lx	47.7 lx	0.44	0.20	S3
Tola 1 Iluminancia perpendicular Altura: 0.300 m	3.68 lx	3.25 lx	4.20 lx	0.88	0.77	S4
Sol Iluminancia perpendicular Altura: 0.100 m	11.2 lx	8.01 lx	14.9 lx	0.72	0.54	S5
Tola 2 Iluminancia perpendicular Altura: 0.400 m	19.2 lx	16.7 lx	22.3 lx	0.87	0.75	S6
Tola 3 Iluminancia perpendicular Altura: 0.200 m	16.7 lx	14.7 lx	18.7 lx	0.88	0.79	S7

Anexo C: Fichas técnicas de los equipos seleccionados.

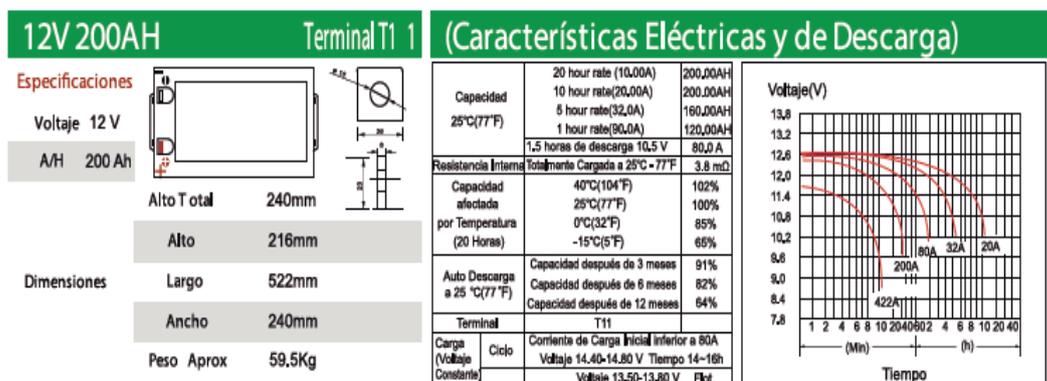
En este anexo se encuentran los equipos seleccionados para el sistema fotovoltaico.

DATOS ELÉCTRICOS						
Tipo de Panel	GMA 225-60	GMA 230-60	GMA 240-60	GMA 245-60	GMA 250-60	GMA 260-60
Potencia nominal máx. (Wp)	225 W	230 W	240 W	245 W	250 W	260 W
Voltaje nominal (Vmp)	29.7 V	29.9 V	30.1 V	30.3 V	30.5 V	30.9 V
Corriente nominal (Imp)	7.58 A	7.69 A	7.97 A	8.05 A	8.20 A	8.42 A
Voltaje de circuito abierto (Voc)	37.0 V	37.2 V	37.2 V	37.2 V	37.6 V	38.0 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	8.46 A	8.24 A	8.96 A	9.15 A	8.87 A	8.99 A
Eficiencia del módulo (%)	13.6	13.9	14.5	14.8	15.1	15.7
Voltaje máximo del sistema	600 VDC (UL) 1000 VDC (IEC)					
STC: 1000 W/m ² , 25°C, AM= 1.5						

COEFICIENTES DE TEMPERATURA		DATOS MECÁNICOS	
TONC	45+/-2°C	Celda Solar	Policristalina 156 mm x 156 mm
Voltaje Temperatura Coeficiente (Voc)	-0.36%	Vidrio frontal	3.2 Templado
Corriente temperatura Coeficiente (Isc)	+0.033%	Caja de conexiones	Caja de conexiones certificada
Potencia de temperature Coeficiente (Pmpp)	+0.48%	Cables de salida	1000 mm de longitud con conectores
Tolerancia de potencia mínima -0/+5%		Marco	Aluminio anodizado
TONC: Temperatura de operación nominal de la celda -40°C to +95°		Peso	20kg
		Dimensiones	1652 mm x 1000 x 35 mm

Fuente: <https://www.renova-energia.com/wp-content/uploads/2019/07/GMA-60-P-250-250W->

[24VDCFicha-t%C3%A9cnica.pdf](#)



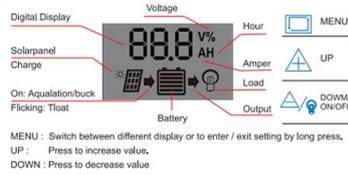
Fuente: <https://www.amvarworld.com/es/baterias-12v-200ah-gel-ag/24-bateria-12v-200ah-netion.html>

Binen®

-  Light control and time control
-  5V 2.5A output
-  Large LCD display
-  Intelligent PWM charging mode



LCD DISPLAY / KEY

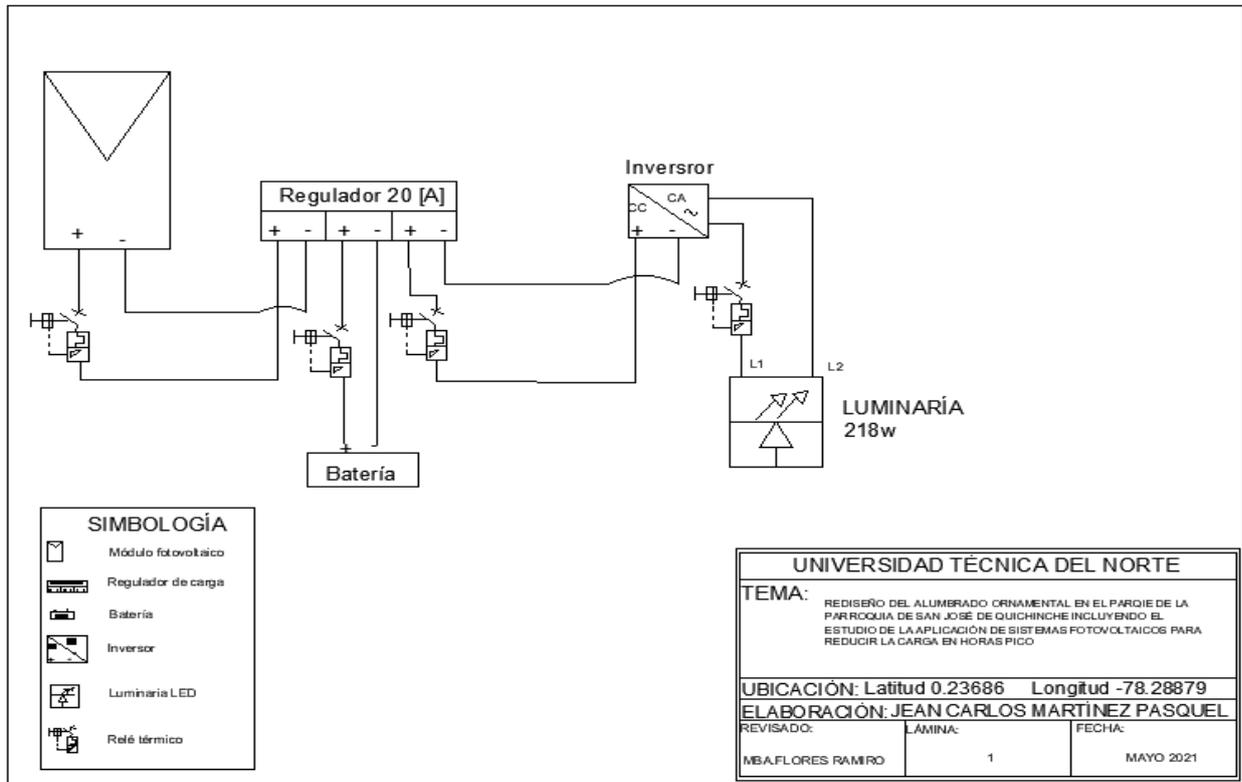


Inversor Phoenix	12 voltios 24 voltios 48 voltios	12/250 24/250 48/250	12/375 24/375 48/375	12/500 24/500 48/500	12/800 24/800 48/800	12/1200 24/1200 48/1200
Potencia cont a 25°C (1)		250VA	375VA	500VA	800VA	1200VA
Potencia cont. a 25°C / 40°C		200 / 175W	300 / 260W	400 / 350W	650 / 560W	1000 / 850W
Pico de potencia		400W	700W	900W	1500W	2200W
Tensión / frecuencia CA de salida (ajustable)	230VCA o 120VCA +/- 3% 50Hz o 60Hz +/- 0,1%					
Rango de tensión de entrada	9,2 - 17 / 18,4 - 34,0 / 36,8 - 62,0V					
Desconexión por CC baja (ajustable)	9,3 / 18,6 / 37,2V					
Dinámica (dependiente de la carga)	Desconexión dinámica, ver					
Desconexión por CC baja (totalmente ajustable)	https://www.victronenergy.com/live/ve-direct:phoenix-inverters-dynamic-cut-off					
Reinicio y alarma por CC baja (ajustable)	10,9 / 21,8 / 43,6V					
Detector de batería cargada (ajustable)	14,0 / 28,0 / 56,0V					
Eficacia máx.		87 / 88 / 88%	89 / 89 / 90%	90 / 90 / 91%	90 / 90 / 91%	91 / 91 / 92%
Consumo en vacío		4,2 / 5,2 / 7,9W	5,6 / 6,1 / 8,5W	6 / 6,5 / 9W	6,5 / 7 / 9,5W	7 / 8 / 10W
Consumo en vacío predeterminado en modo ECO (Intervalo de reinvento: 2,5 s, ajustable)		0,8 / 1,3 / 2,5W	0,9 / 1,4 / 2,6W	1 / 1,5 / 3,0W	1 / 1,5 / 3,0W	1 / 1,5 / 3,0
Ajuste de potencia de parada y arranque en modo ECO	Ajustable					
Protección (2)	a - f					
Rango de temperatura de trabajo	-40 to +65°C (refrigerado por ventilador) (reducción de potencia del 1,25% por cada °C por encima de 25°C)					
Humedad (sin condensación)	máx. 95%					

Fuente: <https://cdn.shopify.com/s/files/1/0080/3405/8291/files/Victron-Phoenix-Inverter-VE.Direct-250VA->

[1200VA-Datasheet.pdf?1785](https://cdn.shopify.com/s/files/1/0080/3405/8291/files/Victron-Phoenix-Inverter-VE.Direct-250VA-1200VA-Datasheet.pdf?1785)

Anexo D: Diagrama del sistema fotovoltaico autónomo.



Anexo E: Simulación de sistema fotovoltaico autónomo, con un panel policristalino.



PVsyst V7.2.2
VCS, Simulation date:
16/05/21 15:27
with v7.2.2

Project: Parque de San José de Quichinche
Variant: DEMO - Dakar Stand-alone, 2.2 kWh/day, 600 Wp

Project summary			
Geographical Site San José de Quichinche Ecuador	Situation Latitude Longitude Altitude Time zone	0.24 °N -78.29 °W 2615 m UTC-5	Project settings Albedo 0.20
Meteo data San José de Quichinche PVGIS api TMY			

System summary			
Stand alone system PV Field Orientation Fixed plane Tilt/Azimuth 3 / 15 °	Stand alone system with batteries User's needs Daily household consumers Constant over the year Average 1.0 kWh/Day		
System information PV Array Nb. of modules Pnom total	1 Unit 250 Wp	Battery pack Technology Nb. of units Voltage Capacity	Lead-acid, sealed, Gel 1 Unit 12 V 169 Ah

Results summary			
Available Energy	354.2 kWh/year	Specific production	1417 kWh/kWp/year
Used Energy	319.9 kWh/year	Perf. Ratio PR	74.19 %
		Solar Fraction SF	86.62 %

General parameters			
Stand alone system PV Field Orientation Orientation Fixed plane Tilt/Azimuth 3 / 15 °	Stand alone system with batteries Sheds configuration No 3D scene defined		Models used Transposition Diffuse Circumsolar Perez Imported separate
User's needs Daily household consumers Constant over the year Average 1.0 kWh/Day			

PV Array Characteristics			
PV module Manufacturer Model (Original PVsyst database)	Generic Poly 250 Wp 60 cells	Battery Manufacturer Model Technology Nb. of units Discharging min. SOC Stored energy	Generic Solar PV 8G4D Lead-acid, sealed, Gel 1 Unit 20.0 % 1.6 kWh
At operating cond. (50°C) Pmpp U mpp I mpp	250 Wp 1 Unit 250 Wp 1 String x 1 In series	Battery Pack Characteristics Voltage Nominal Capacity Temperature	12 V 169 Ah (C10) External ambient temperature
Controller Universal controller Technology Temp coeff. Converter MaxI and EURO efficiencies	MPPT converter -5.0 mV/°C/Elem.	Battery Management control Threshold commands as Charging approx. Discharging approx.	SOC calculation SOC = 0.90 / 0.75 13.3 / 12.4 V SOC = 0.20 / 0.45 11.5 / 12.1 V
Total PV power Nominal (STC) Total Module area Cell area	0 kWp 1 modules 1.6 m² 1.5 m²		

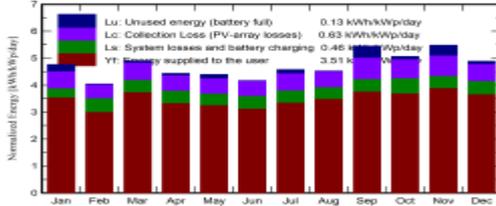
Main results

System Production

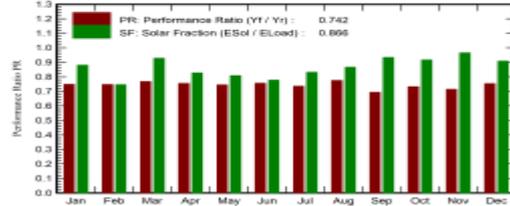
Available Energy 354.2 kWh/year
 Used Energy 319.9 kWh/year
 Excess (unused) 11.9 kWh/year
 Loss of Load Time Fraction 29.9 %
 Missing Energy 49.4 kWh/year

Specific production 1417 kWh/kWp/year
 Performance Ratio PR 74.19 %
 Solar Fraction SF 86.62 %
Battery aging (State of Wear)
 Cycles SOW 90.0 to 38.6 %
 Static SOW 93.0 to 85.9 %
 Battery lifetime 2.0 years

Normalized productions (per installed kWp)



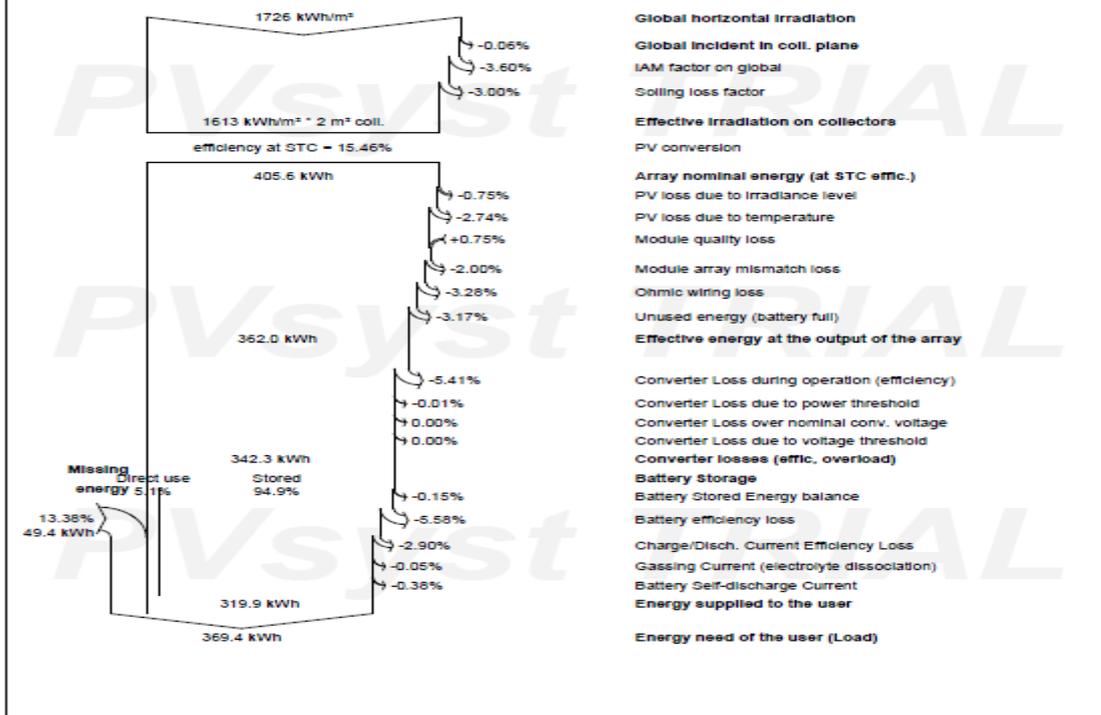
Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E_Avail kWh	EUnUsed kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac ratio
January	145.7	138.1	30.34	1.841	3.778	27.59	31.37	0.880
February	112.6	105.3	23.31	0.030	7.198	21.14	28.34	0.746
March	151.7	141.9	31.26	0.361	2.276	29.10	31.37	0.927
April	134.0	124.0	27.45	0.431	5.285	25.08	30.36	0.826
May	137.8	127.3	28.07	0.949	6.029	25.34	31.37	0.808
June	127.3	116.1	25.64	0.000	6.769	23.69	30.36	0.777
July	144.3	132.4	28.99	1.010	5.292	26.08	31.37	0.831
August	141.7	131.0	28.86	0.001	4.213	27.16	31.37	0.866
September	163.8	153.5	33.25	3.119	2.007	28.35	30.36	0.934
October	156.0	147.1	32.09	0.723	2.641	28.73	31.37	0.916
November	162.1	154.3	33.70	2.744	1.072	29.29	30.36	0.965
December	149.0	141.9	31.22	0.647	2.875	28.50	31.37	0.908
Year	1726.1	1613.0	354.19	11.856	49.433	319.95	369.38	0.866

Loss diagram



Simulación con panel mono cristalino



Project: Parque de San José de Quichinche
 Variant: DEMO - Dakar Stand-alone, 2.2 kWh/day, 800 Wp

PVsyst V7.2.2
 VCS, Simulation date:
 16/05/21 15:28
 with v7.2.2

Project summary			
Geographical Site San José de Quichinche Ecuador	Situation Latitude Longitude Altitude Time zone	0.24 °N -78.29 °W 2615 m UTC-5	Project settings Albedo 0.20
Meteo data San José de Quichinche PVGIS api TMY			

System summary			
Stand alone system PV Field Orientation Fixed plane Tilt/Azimuth 3 / 15 °	Stand alone system with batteries User's needs Daily household consumers Constant over the year Average 1.0 kWh/Day		
System information PV Array Nb. of modules Pnom total	1 Unit 250 Wp	Battery pack Technology Nb. of units Voltage Capacity	Lead-acid, sealed, Gel 1 Unit 12 V 169 Ah

Results summary			
Available Energy	351.8 kWh/year	Specific production	1407 kWh/kWp/year
Used Energy	318.2 kWh/year	Perf. Ratio PR	73.77 %
		Solar Fraction SF	86.13 %

General parameters			
Stand alone system PV Field Orientation Orientation Fixed plane Tilt/Azimuth 3 / 15 °	Stand alone system with batteries Sheds configuration No 3D scene defined	Models used Transposition Diffuse Circumsolar	Perez Imported separate
User's needs Daily household consumers Constant over the year Average 1.0 kWh/Day			

PV Array Characteristics			
PV module Manufacturer Model (Original PVsyst database)	Generic Mono 250 Wp 60 cells	Battery Manufacturer Model Technology	Generic Solar PV 8G4D Lead-acid, sealed, Gel
Unit Nom. Power Number of PV modules Nominal (STC) Modules	250 Wp 1 Unit 250 Wp 1 String x 1 In series	Nb. of units Discharging min. SOC Stored energy	1 Unit 20.0 % 1.6 kWh
At operating cond. (50°C) Pmpp U mpp I mpp	225 Wp 27 V 8.2 A	Battery Pack Characteristics Voltage Nominal Capacity Temperature	12 V 169 Ah (C10) External ambient temperature
Controller Universal controller Technology Temp coeff. Converter Maxi and EURO efficiencies	MPPT converter -5.0 mV/°C/Elem.	Battery Management control Threshold commands as Charging approx. Discharging approx.	SOC calculation SOC - 0.90 / 0.75 13.3 / 12.4 V SOC - 0.20 / 0.45 11.5 / 12.1 V
Total PV power Nominal (STC) Total Module area Cell area	0 kWp 1 modules 1.6 m² 1.4 m²		

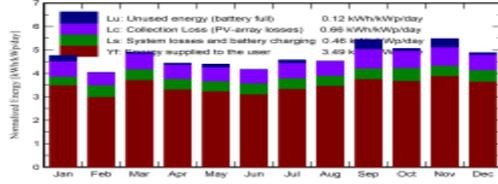
main results

System Production

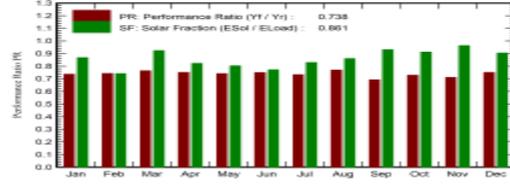
Available Energy 351.8 kWh/year
 Used Energy 318.2 kWh/year
 Excess (unused) 11.2 kWh/year
 Loss of Load 30.7 %
 Time Fraction 51.2 kWh/year
 Missing Energy

Specific production 1407 kWh/kWp/year
 Performance Ratio PR 73.77 %
 Solar Fraction SF 86.13 %
 Battery aging (state of wear) 90.0 to 38.8 %
 Cycles SOW 93.0 to 85.9 %
 Static SOW 2.0 years
 Battery lifetime

Normalized productions (per installed kWp)



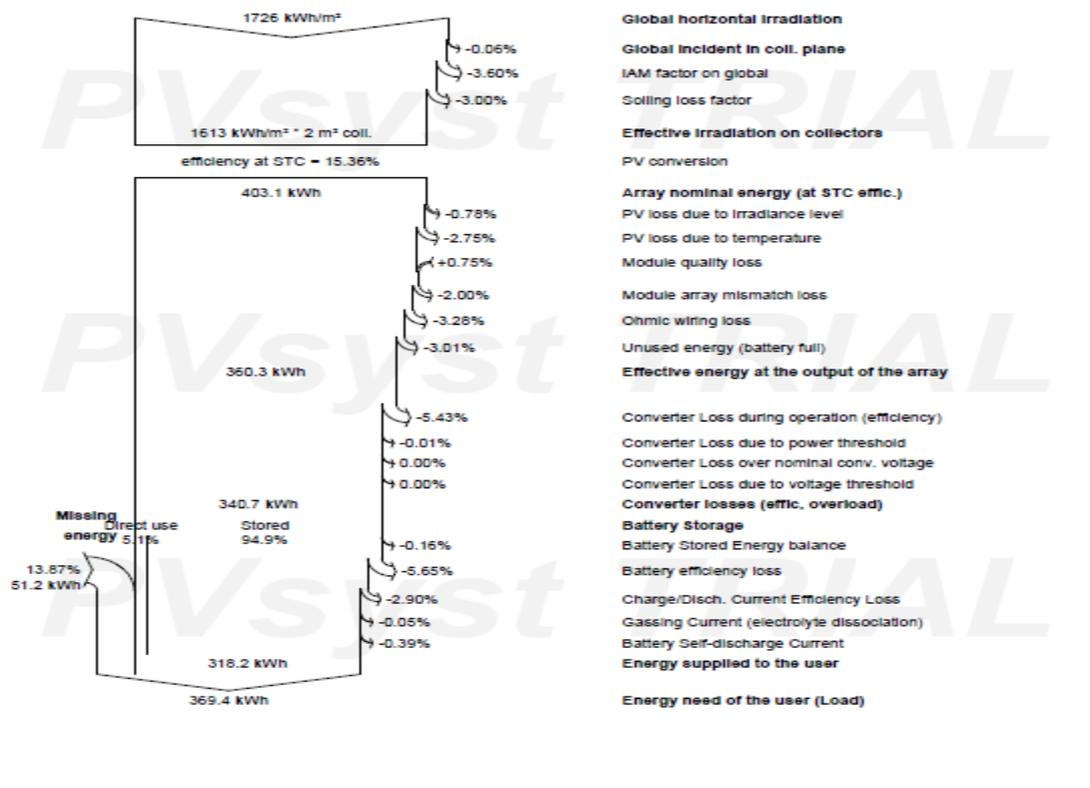
Performance Ratio PR



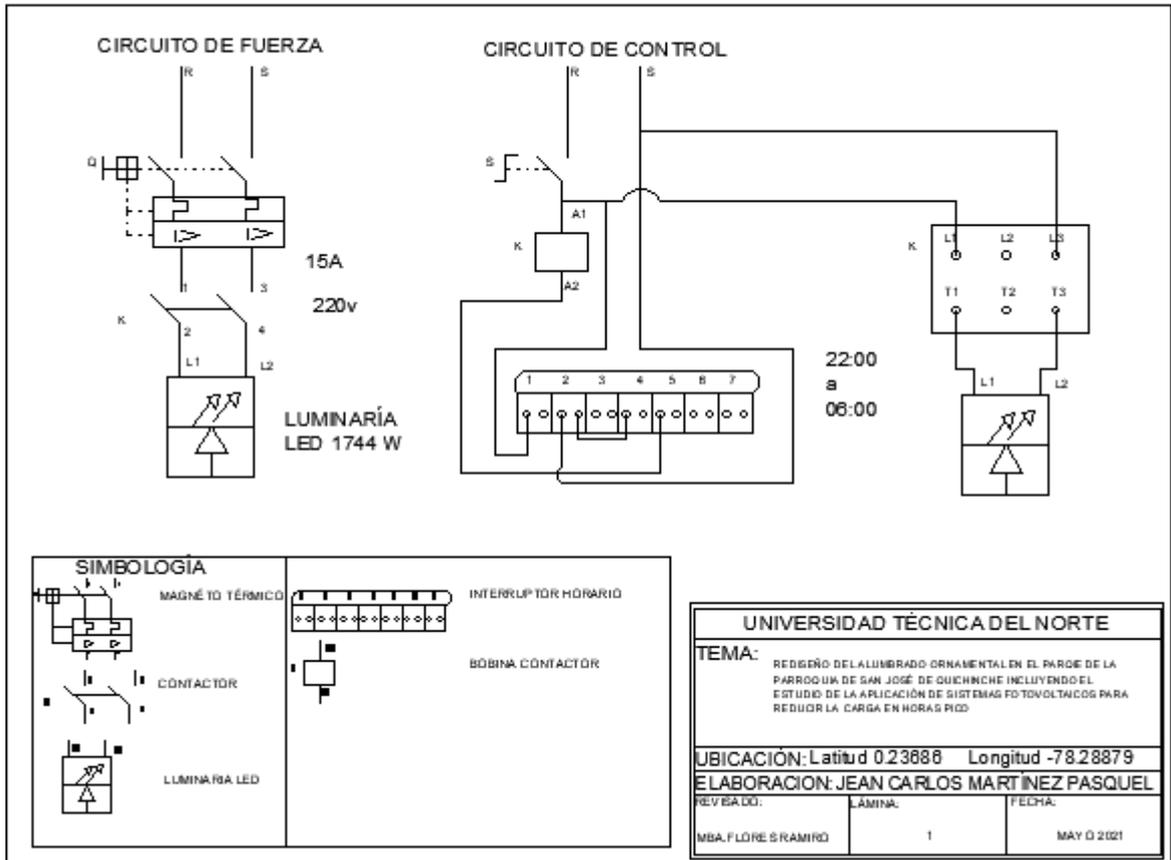
Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	Solfrac ratio
January	145.7	136.1	30.13	1.774	4.168	27.20	31.37	0.867
February	112.6	106.3	23.14	0.000	7.323	21.01	28.34	0.742
March	151.7	141.9	31.06	0.311	2.417	28.95	31.37	0.923
April	134.0	124.0	27.27	0.405	5.428	24.93	30.36	0.821
May	137.8	127.3	27.89	0.914	6.169	25.20	31.37	0.803
June	127.3	116.1	25.47	0.000	6.925	23.43	30.36	0.772
July	144.3	132.4	28.79	0.930	5.388	25.98	31.37	0.828
August	141.7	131.0	26.67	0.000	4.401	26.97	31.37	0.860
September	163.8	153.5	33.03	2.984	2.089	26.27	30.36	0.931
October	156.0	147.1	31.88	0.695	2.794	28.58	31.37	0.911
November	162.1	154.3	33.49	2.623	1.142	29.22	30.36	0.962
December	149.0	141.9	31.02	0.546	2.983	28.39	31.37	0.905
Year	1726.1	1613.0	351.84	11.181	51.228	318.15	369.38	0.861

Loss diagram



Anexo F: Circuito de fuerza y control del alumbrado ornamental



Anexo G: Diagrama unifilar del alumbrado ornamental y sistema fotovoltaico conectados a la red de distribución.

