



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

TEMA:

**Análisis y diseño del alumbrado en espacios exteriores utilizando
lámparas LED microcontroladas, alimentadas por un sistema de energía
solar fotovoltaico**

AUTOR:

MONTALVO URETA, DOUGLAS VLADIMIR

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de

INGENIERO EN ELÉCTRICO MECÁNICA

TUTOR:

MENDOZA MERCHÁN, EDUARDO VICENTE

Guayaquil, Ecuador

16 de Septiembre del 2016



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Montalvo Ureta, Douglas Vladimir**, como requerimiento para la obtención del Título de **INGENIERO EN ELÉCTRICO MECÁNICA**

TUTOR

MENDOZA MERCHÁN, EDUARDO VICENTE

DIRECTOR DE LA CARRERA

HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO

Guayaquil, a los 16 días del mes de Septiembre del año 2016



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Montalvo Ureta, Douglas Vladimir**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, “**Análisis y diseño del alumbrado en espacios exteriores utilizando lámparas LED microcontroladas, alimentadas por un sistema de energía solar fotovoltaico**”, previo a la obtención del Título de **Ingeniero en Eléctrico Mecánica**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del trabajo de titulación referido.

Guayaquil, a los 16 días del mes de Septiembre del año 2016

EL AUTOR

MONTALVO URETA, DOUGLAS VLADIMIR



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, **Montalvo Ureta, Douglas Vladimir**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **“Análisis y diseño del alumbrado en espacios exteriores utilizando lámparas LED microcontroladas, alimentadas por un sistema de energía solar fotovoltaica”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 16 días del mes de Septiembre del año 2016

EL AUTOR:

MONTALVO URETA, DOUGLAS VLADIMIR

REVISIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN CON PROGRAMA ANTI PLAGIO URKUND
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

TÍTULO: “Análisis y diseño del alumbrado en espacios exteriores utilizando lámparas LED microcontroladas, alimentadas por un sistema de energía solar fotovoltaico”.

AUTOR: Montalvo Ureta, Douglas Vladimir

The screenshot displays the Urkund web interface. On the left, document details for 'TESIS final.docx' (ID: D21527887) are shown, including the submission date (2016-08-28 17:14) and the sender (viady-@outlook.com). The message area indicates a 3% match rate across approximately 35 pages. On the right, a 'Lista de fuentes' (List of sources) table shows various matches with their respective percentages: 42%, 90%, 100%, 81%, 100%, 76%, 100%, 66%, 80%, and 48%. At the bottom, a comparison window for a 93% match is open, showing identical text from a document at 'UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL'.

El trabajo de titulación del Sr. **Montalvo Ureta, Douglas Vladimir**, observa un porcentaje inferior al **3%** de coincidencias con otros documentos encontrados en el internet.

.....
Ing. Eduardo Mendoza Merchán

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por todo lo que me ha dado en la vida, le agradezco por hacer que cada día sea una mejor persona y poder lograr mis objetivos.

Al Decano, Director de carrera, Coordinador académico y a mi Tutor de proyecto de titulación por su ardua y valiosa colaboración, orientación en el desarrollo del presente Proyecto de tesis.

A mis padres les agradezco por apoyarme moral y económicamente en mi a mis hermanos y demás familiares que me han apoyado en muchas situaciones de la vida y de mi carrera universitaria.

Agradezco a la Lic. Lorena Peralta de Coello que me brindó su apoyo económico para la implementación del proyecto de titulación. A mi compañero y amigo Carlos Pérez Castro, que me brindó la ayuda para realizar la implementación de la parte práctica del proyecto de titulación.

EL AUTOR

DOUGLAS VLADIMIR, MONTALVO URETA

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primero a Dios, ya que cada día me ha dado fuerzas para seguir adelante en mi carrera universitaria.

A mis padres Eduardo Montalvo y Ana Ureta, ya que ellos han sido la base de todos mis logros, ya que con el esfuerzo de ellos eh podido llegar hasta este punto importante de mi vida.

A mi entrenador y gran amigo William Coello que siempre ha estado apoyándome y aconsejándome en el ámbito laboral, personal y académico.

Finalmente le dedico este trabajo a la persona más importante de mi vida, a mi hijo Nicolás Gabriel Montalvo Cabrera, ya que él ha sido mi motivación y mi inspiración de ser mejor cada día, de llegar a ser un excelente profesional y persona en la vida.

EL AUTOR

DOUGLAS VLADIMIR, MONTALVO URETA



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

MENDOZA MERCHÁN, EDUARDO VICENTE

TUTOR

HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO

DIRECTOR DE CARRERA

MONTENEGRO TEJADA, RAÚL

COORDINADOR DEL ÁREA



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

CALIFICACIÓN

10,00



ÍNDICE

CAPÍTULO 1.....	21
INTRODUCCIÓN.....	21
1.1 Planteamiento del problema.....	21
1.2 Justificación.....	21
1.3 Delimitación.....	22
1.4 Objetivos.....	22
1.4.1 Objetivo general.....	22
1.4.2 Objetivos Específicos.....	23
1.5 Hipótesis.....	23
1.6 Metodología de investigación.....	24
PARTE I MARCO TEÓRICO.....	25
CAPÍTULO 2.....	25
ESTADO DEL ARTE.....	25
2.1 Introducción.....	25
2.1.1 Diseño de un sistema de generación eléctrica solar para la iluminación externa del modular de la escuela de Ingeniería en Ecoturismo.	25
2.1.2 Energía solar fotovoltaica aplicada al diseño de iluminación de espacios abiertos.....	26
2.1.3 Diseño e implementación de un sistema autónomo de iluminación para espacios exteriores mediante paneles fotovoltaicos.	26
2.1.4 Cálculo de instalación eléctrica utilizando energía solar para tres casos de estudio.	27
2.1.5 Estudio de electrificación con energía solar en la plaza pública del distrito de LLauta-Lucanas-Ayacucho.	27

2.1.6 Aplicación de la Energía solar para electrificación rural en zonas marginales de Perú.	28
2.1.7 Propuesta de alumbrado público por medio de celdas fotovoltaicas con luminarias tipo leds para la Manga, municipio de la Yesca en el estadio de Nayarit.	28
2.1.8 Estudio de factibilidad para el uso de energía solar y eólica en sistemas de alumbrado público para la vía de integración barrial, sector el Plateado servido por empresa eléctrica regional del sur.	29
2.1.9 Análisis de la energía solar térmica y fotovoltaica para la comunidad de limoncito.	29
2.1.10 Diseño y construcción de un sistema de iluminación autosustentable fotovoltaica en una parada de buses y su valla informativa del sistema integrado de transporte de Cuenca.	30
2.2 Principios de la energía solar	31
2.2.1 Radiación solar	31
2.2.1.1 Radiación directa.....	31
2.2.1.2 Radiación difusa.....	31
2.2.1.3 Radiación reflejada.....	32
2.2.1.4 Radiación global.....	32
2.2.1.5 Espectro solar	32
2.2.1.6 Dirección de Incidencia de la irradiación solar	33
2.2.2 Radiación solar en el Ecuador	34
2.3 Sistemas fotovoltaicos.....	36
2.3.1 Energía solar fotovoltaica.....	36
2.3.2 Sistemas fotovoltaicos autónomos	36
2.3.3 Sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica	41
2.4 Fundamentos de luminotecnia.....	42

2.4.1 Iluminación	42
2.4.2 Flujo luminoso	42
2.4.3 Luminancia.....	43
2.4.4 Iluminancia	44
2.4.6 Temperatura de color	44
2.4.7 Deslumbramiento	45
2.4.8 Alumbrado público en el Ecuador	47
2.5 Sistemas de control basados en microcontroladores	53
2.5.1 Microcontrolador.....	53
2.5.2 Características de los microcontroladores	54
2.5.3 Proceso de Desarrollo.....	55
PARTE II APORTACIONES	58
CAPÍTULO 3.....	58
DESARROLLO DEL PROYECTO	58
3.1 Introducción.....	58
3.2 Análisis del área a iluminar.....	58
3.2.1 Calculo del flujo luminoso total necesario	59
3.3 Selección del tipo de lámpara.....	63
3.4 Cálculo y dimensionamiento del sistema fotovoltaico.....	64
3.4.1 Descripción del sistema	64
3.4.2 Funciones del sistema de iluminación fotovoltaico	66
3.4.3 Características del sistema de iluminación fotovoltaico	66
3.4.4 Dimensionamiento del módulo fotovoltaico	67
3.4.5 Orientación y ángulo de inclinación del módulo fotovoltaico	71
3.4.6 Dimensionamiento del acumulador de energía	73

3.4.7 Dimensionamiento del regulador de carga.....	74
3.5 Diseño del dispositivo controlador del sistema fotovoltaico	76
3.6 Modo de operación del sistema de iluminación fotovoltaico	80
3.7 Análisis económico y financiero.....	81
3.7.1 Generalidades.....	81
3.7.2 Costos directos	81
3.7.3 Costos indirectos.....	83
3.7.4 Costo total del proyecto.....	83
3.7.5 Costo actual de la energía convencional y Fotovoltaica.....	84
3.7.6 Costo real de la Energía solar fotovoltaica generada y ahorro anual	84
CAPÍTULO 4.....	87
ANÁLISIS DE RESULTADOS	87
4.1 Generalidades	87
4.1.1 Datos obtenidos del sistema de iluminación fotovoltaico	87
4.1.2 Datos obtenidos del acumulador de energía y la lámpara led.....	89
4.1.3 Programación del sistema de iluminación fotovoltaico	90
CAPÍTULO 5.....	94
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	94
5.1 Conclusiones.....	94
5.2 Recomendaciones.....	95
BIBLIOGRAFÍA.....	97
ANEXOS.....	97

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 2

Tabla 2.1: Tipos de deslumbramiento.....	40
Tabla 2.2: Clasificación de las vías.....	41
Tabla 2.3: Clase de iluminación para diferentes tipos de vías.....	41
Tabla 2.4: Consumo eléctrico de iluminación pública en Ecuador.....	43
Tabla 2.5: Alumbrado público por tipo de tecnología en Ecuador.....	43
Tabla 2.6: Características de luminarias para alumbrados públicos.....	44

CAPÍTULO 3

Tabla 3.1: Niveles de iluminación en Zonas recreativas.....	55
Tabla 3.2: Cálculo para el coeficiente de mantenimiento.....	56
Tabla 3.3: Características técnicas de la luminaria led.....	58
Tabla 3.4: Dispositivos que conforman el sistema de iluminación fotovoltaico.....	62
Tabla 3.5: Irradiación solar en el Ecuador.....	63
Tabla 3.6: Características de funcionamiento de la lámpara Led.....	64
Tabla 3.7: Energía y Carga total del Sistema Fotovoltaico.....	64
Tabla 3.8: Carga corregida.....	65
Tabla 3.9: Corriente pico del sistema fotovoltaico.....	65

Tabla 3.10: Ángulo de inclinación del módulo fotovoltaico en función de la Latitud del lugar.....	67
Tabla 3.11: Procedimiento para calcular el acumulador de energía.....	69
Tabla 3.12: Costos directos del proyecto.....	77
Tabla 3.13: Costo total del proyecto.....	78

CAPÍTULO 4

Tabla 4.1: Resultados teóricos y experimentales del sistema fotovoltaico.....	84
Tabla 4.2: Resultados teóricos y experimentales del acumulador y la lámpara led.....	85

ÍNDICE DE GRÁFICOS

CAPÍTULO 2

Gráfico 2.1: Espectro Solar.....	27
Gráfico 2.2: Energía que ingresa a la tierra en promedio cada año.....	28
Gráfico 2.3: Insolación Difusa Promedio.....	29
Gráfico 2.4: Insolación Directa Promedio.....	30
Gráfico 2.5: Insolación Global Promedio.....	30
Gráfico 2.6: Diagrama de bloques general de un sistema fotovoltaico autónomo.....	32
Gráfico 2.7: Modulo Solar.....	33
Gráfico 2.8: Regulador de carga.....	34
Gráfico 2.9: Acumulador de energía.....	34
Gráfico 2.10: Convertidor DC/DC.....	35
Gráfico 2.11: Inversor de corriente DC/AC.....	36
Gráfico 2.12: Sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica.....	37
Gráfico 2.13: Representación del flujo luminoso.....	38
Gráfico 2.14: Luminancia de una superficie.....	38
Gráfico 2.15: Concepto de iluminancia.....	39
Gráfico 2.16: Escala de temperatura de los colores.....	39
Gráfico 2.17: Foco de vapor de Mercurio.....	45
Gráfico 2.18: Foco de vapor de Sodio.....	46

Gráfico 2.19: Foco tipo LED.....	47
Gráfico 2.20: Diagrama representativo de un microcontrolador.....	48
Gráfico 2.21: Etapas del desarrollo del Software.....	50
Gráfico 2.22: Programación del Microcontrolador.....	51

CAPÍTULO 3

Gráfico 3.1: Vista isométrica del sistema fotovoltaico.....	57
Gráfico 3.2: Curva polar y Diagrama cartesiano.....	59
Gráfico 3.3: Sistema de iluminación fotovoltaico.....	60
Gráfico 3.4: Características del módulo fotovoltaico seleccionado.....	66
Gráfico 3.5: Orientación e inclinación del módulo solar fotovoltaico.....	68
Gráfico 3.6: Características del acumulador de energía seleccionado.....	69
Gráfico 3.7: Grafica del regulador de carga seleccionado.....	71
Gráfico 3.8: Diagrama electrónico de la tarjeta que controla la lámpara led.....	72
Gráfico 3.9: Características del driver seleccionado para la lámpara led.....	73
Gráfico 3.10: Formas de onda de tensión vs tiempo.....	74
Gráfico 3.11: Diagrama de flujo del sistema de iluminación fotovoltaico.....	75
Gráfico 3.12: Esquema del circuito eléctrico del sistema de iluminación fotovoltaico.....	76

CAPÍTULO 4

Gráfico 4.1: Tensión en vacío del módulo fotovoltaico.....	83
--	----

Gráfico 4.2: Tensión e intensidad eléctrica con carga del sistema de iluminación fotovoltaico.....	83
Gráfico 4.3: Tensión e intensidad eléctrica del acumulador de energía y la lámpara led.....	84
Gráfico 4.4: Ventana de selección de carga.....	86
Gráfico 4.5: Ventana de selección de parámetros y curva del periodo de trabajo.....	87

RESUMEN

El presente trabajo de titulación está orientado al análisis de la iluminación en espacios exteriores mediante generación fotovoltaica autónoma con la finalidad de fomentar el ahorro y eficiencia energética en la parte de iluminación exterior, también para poder transmitir conocimiento acerca del uso de estos sistemas eléctricos mediante energía solar. Se decidió que el lugar propuesto para este proyecto sería en uno de los espacios de la Facultad Técnica para el Desarrollo en los cuales los estudiantes y autoridades de las distintas carreras podrían observar que estos modernos sistemas pueden servir y ser de gran importancia en sistemas aislados de la red eléctrica, como también pueden ser implementados en áreas verdes, centros educativos, y demás lugares donde se requieran. Los métodos de investigación que se utilizaron fueron el análisis teórico mediante investigación bibliográfica de los fundamentos acerca de la energía solar fotovoltaica, iluminación pública y microcontroladores para este tipo de sistemas de iluminación, luego se procedió con el método experimental el cual consiste en realizar pruebas de funcionamiento y tomar datos de mediciones de variables eléctricas para luego hacer una comparación entre los resultados calculados en la parte teórica y los datos tomados en la parte experimental. Una de las conclusiones más relevantes del desarrollo del proyecto es que mediante el diseño de este sistema se puede obtener una alta eficiencia en el sistema de iluminación y un ahorro de energía ya que la lámpara led es controlada para que trabaje de acuerdo con la programación dada, el tiempo de accionamiento y la intensidad de flujo luminoso y por medio de estas funciones el sistema permite que la batería no se agote durante el periodo de su trabajo pudiendo almacenar cada día más energía sin descargarse totalmente.

Palabras claves: INSOLACIÓN SOLAR; FOTOVOLTAICO; LEDS; MICROCONTROLADORES; FLUJO LUMINOSO; ATLAS SOLAR ECUADOR.

ABSTRACT

The present work of diploma is aimed at analyzing the lighting in public spaces through generation autonomous photovoltaic with the aim of enhancing the energy saving and efficiency on the part of exterior lighting, also to be able to convey knowledge about the use of these electrical systems using solar energy. It was decided that the proposed site for this project would be in one of the spaces of the Technical College for Development in which students and authorities of the different races could observe that these modern systems can serve and to be of great importance in isolated systems of the electrical network, as can also be implemented in green areas, educational centers and other places where they are needed. The research methods used were the theoretical analysis through bibliographic research of the basics about the photovoltaic solar energy, public lighting and microcontrollers for this type of lighting systems. One of the most relevant conclusions of the development of the project is that through the design of this system you can get a high efficiency in the lighting system and an energy saving as the Lamp LED is controlled to work in accordance with the schedule given, the actuation time and intensity of luminous flux and by means of these functions the system allows that the battery is not exhausted during the period of its work being able to store each day more power without be fully discharged.

Keywords: SOLAR HEAT STROKE; FOTOVOLTAICO; LEDS; MICROCONTROLLERS; LUMINOUS FLUX; SOLAR ATLAS ECUADOR.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

La utilización de generación de energía eléctrica mediante módulos fotovoltaicos, en el área de iluminación exterior, no se está aprovechando al máximo debido al distinto uso de luminarias y diseños que la conforman, para el caso del presente proyecto se pretende diseñar un sistema de iluminación exterior alimentados por módulos solares fotovoltaicos utilizando lámparas led microcontroladas y mediante el dimensionamiento y selección adecuado de dispositivos que conformaran el sistema hacer que se obtenga un ahorro de energía y una alta eficiencia en comparación a los distintos sistemas fotovoltaicos en el área de iluminación ya existentes.

1.2 Justificación

La idea de desarrollar este tipo de proyecto se debe a que se pretende analizar el grado de eficiencia que se podrá obtener mediante el uso de la generación fotovoltaica utilizando lámparas led y mediante una tarjeta electrónica controlar el tiempo de accionamiento y el nivel de flujo luminoso necesario que se necesitara proveer en el área o superficie seleccionada y así poder obtener un ahorro de energía en el sistema y aprovechar el máximo rendimiento de la lámpara led para hacer que el sistema de iluminación fotovoltaico tenga una alta eficiencia energética. El proyecto de titulación es de carácter mixto el cual consiste en la parte teórica y la parte práctica el cual consiste en la implementación del diseño que se va a realizar en el desarrollo del proyecto.

1.3 Delimitación

El proyecto de investigación se centra en el área de la energía solar fotovoltaica y sistemas de iluminación led microcontrolados, el cual es desarrollado en la ciudad de Guayaquil y será implementado en la Facultad Técnica para el Desarrollo en la U.C.S.G.

El proyecto consta de un sistema eléctrico solar fotovoltaico autosustentable que servirá para alimentar una lámpara tipo led exterior la cual será controlada por un driver que será programado para que el tiempo de funcionamiento sea desde las 18:00 trabajando al 100 % de su capacidad y a partir de las 00:00 trabaje a un 30% de su capacidad, teniendo un funcionamiento de trabajo de 12 horas y una variación de la intensidad luminosa dependiendo los porcentajes de operación.

La parte práctica del proyecto consiste en la implementación de un prototipo el cual representará el sistema de iluminación fotovoltaico, el cual consiste en el montaje de los equipos, como son el modulo solar, el regulador de carga, el acumulador, y la luminaria led junto con sus elementos que la conforman, la ubicación del área a iluminar consta de un área de 20 metros cuadrados parte de las escalinatas laterales que se encuentran junto al jardín y los cursos de la carrera de Agropecuaria.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Analizar los sistemas de generación eléctrica a través de energía solar fotovoltaica para ser implementados en la facultad técnica para el desarrollo, en las escalinatas laterales que se encuentran junto al jardín y los cursos de la carrera de Agropecuaria haciendo uso de una lámpara led microcontrolada y mediante un sistema de control permitir su accionamiento y ahorro de energía controlando la cantidad de flujo luminoso.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Analizar los fundamentos relacionados a sistemas eléctricos mediante energía solar fotovoltaica e iluminación en espacios exteriores.
- Calcular los parámetros de funcionamiento del sistema de alumbrado fotovoltaico tipo led.
- Diseñar un sistema eléctrico fotovoltaico automático, con acumulador de energía, para la iluminación de una lámpara exterior tipo Led.
- Seleccionar los elementos y dispositivos que conforman el sistema de iluminación fotovoltaico.
- Presupuestar la implementación y desarrollo del proyecto.
- Analizar los resultados obtenidos con relación a la parte teórica y práctica.

1.5 Hipótesis

Guayaquil es una ciudad que recibe una alta irradiación solar en la mayor parte del tiempo y con este dato se realizará el análisis y diseño de un sistema de iluminación mediante la generación de energía fotovoltaica, en la cual se calculará y se dimensionarán los elementos y dispositivos adecuados que conformarán el sistema fotovoltaico. Cabe considerar que existirán días nublados y esto producirá una variación en el rendimiento del sistema, pero a pesar de esto el sistema consta con un acumulador de energía el cual servirá para almacenar la energía producida por el modulo fotovoltaico en la cual la lámpara led obtendrá un alto rendimiento a la hora de trabajar, y entregara el flujo luminoso adecuado. En lo que respecta al ahorro de energía con relación a los sistemas conectados a la red habrá una gran diferencia ya que la lámpara estará controlada para que trabaje 12 horas de funcionamiento, 6 horas al 30% y 6 horas al 100% en la cual variara la intensidad luminosa dependiendo a cada porcentaje, cabe recalcar que este sistema es autosustentable el cual la energía consumida por la carga no tendrá ningún costo.

1.6 Metodología de investigación

El proyecto de titulación consiste de una investigación de tipo correlacional, con enfoque cuantitativo y la metodología de investigación será mediante el método bibliográfico que permite una búsqueda de información de varias fuentes para conseguir fundamentos teóricos y mediante el estado del arte. Además se trabajara con una metodología experimental para el diseño y validación del proyecto.

La metodología planteada consta de los siguientes procesos para el diseño de investigación:

- Búsqueda bibliográfica de temas relacionados al proyecto (estado del arte).
- Análisis e investigación de los distintos fundamentos teóricos relacionados al proyecto de titulación, (energía solar, fundamentos de luminotecnía, sistemas de control basados en microcontroladores).
- Diseño y selección de los elementos y dispositivos que conforman el sistema de iluminación fotovoltaico, mediante una serie de cálculos.
- Análisis económico
- Desarrollo experimental
- Análisis de resultados

PARTE I MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO 2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Introducción

Con el fin de obtener referencias actuales afines al tema de titulación, se ha buscado y revisado extensamente bibliografía que se encuentra relacionada con el tema propuesto, en diferentes espacios web, tanto de sitios ecuatoriano como extranjeros, que han permitido tener una visión clara de lo que han trabajado en este campo otros investigadores. La búsqueda se ha orientado básicamente a artículos y tesis, cuyos contenidos estén actualizados.

A continuación se listan y se resumen los temas encontrados, que se creen tienen mayor relevancia con respecto al tema propuesto y cuyos resultados aportan con conocimientos actualizados y útiles para los propósitos de esta investigación.

2.1.1 Diseño de un sistema de generación eléctrica solar para la iluminación externa del modular de la escuela de Ingeniería en Ecoturismo.

El objetivo principal es el estudio de un sistema eléctrico mediante la generación de energía solar para la iluminación de la parte exterior del modular de la escuela de Ingeniería en Ecoturismo. Se utilizó el método de investigación aplicada, para el desarrollo del trabajo. Los resultados alcanzados en el trabajo de investigación fueron determinar y diseñar un sistema eléctrico mediante energía solar el cual fue direccionado hacia la iluminación de un modular, en el cual se determinaron con cálculos y diferentes ecuaciones para dimensionar el sistema eléctrico adecuado y consiguiente a eso se realizó el análisis de costo

el cual nos demuestra si es viable o no la implementación de este sistema eléctrico autónomo. Como conclusión se establece que en un sistema fotovoltaico hay una inclinación óptima del panel solar y para cada longitud hay un ángulo de azimut. (Bejarano, 2011)

2.1.2 Energía solar fotovoltaica aplicada al diseño de iluminación de espacios abiertos.

Como objetivo tenemos el análisis de un sistema eléctrico fotovoltaico autónomo para la iluminación de la cruz, mirador y escalinatas de la Universidad Técnica Particular de Loja. El método de investigación que se utilizó es el de desarrollo investigativo. Los resultados alcanzados fueron la determinación de los horarios más aprovechables para ser utilizados este sistema, que corresponden de 9:00 a 16:00 horas en un promedio de 4,5 horas diarias durante todo el año y la orientación de los paneles deben ser ubicados de este a oeste. Se concluye que la energía solar fotovoltaica es una de las alternativas que presentan menos inconvenientes tecnológicos para el proceso de transformación a energía eléctrica. (Rojas, 2009)

2.1.3 Diseño e implementación de un sistema autónomo de iluminación para espacios exteriores mediante paneles fotovoltaicos.

La finalidad de este tema es el estudio, diseño e implementación de un sistema eléctrico autónomo mediante energía solar fotovoltaica para ser aplicados en áreas rurales o remotas. La metodología utilizada para este proyecto de investigación es de desarrollo aplicable, mediante análisis y selección de elementos, equipos y materiales. Los resultados que se han obtenido son el análisis del sistema instalado, revisando la iluminancia, el sistema de encendido y apagado en modo manual y automático, se realizaron pruebas al inversor en el laboratorio para evaluar su comportamiento, y configuración de varios parámetros eléctricos, quedando operativo observando

que el sistema de iluminación cumple con los rangos establecidos en las normas de luminarias exteriores en Vel país. Se llegó a la conclusión que el sistema de iluminación con energía solar no es rentable a pesar de que los costos disminuirían si se lo realiza en grandes cantidades, en relación a los sistemas de iluminación con energía convencional. (Yerena, 2005)

2.1.4 Cálculo de instalación eléctrica utilizando energía solar para tres casos de estudio.

El propósito del proyecto es determinar mediante un estudio técnico-económico la viabilidad de la sustitución del sistema eléctrico convencional por el sistema eléctrico mediante energía renovable en los tres casos a estudiar. La metodología que se uso es investigativa de análisis comparativo. Los resultados alcanzados fueron determinar que los sistemas eléctricos mediante energía solar en comparación con los convencionales representan costos más elevados. Como conclusión se determina elevado costo de inversión inicial, ventajas por parte del mantenimiento del sistema, ya que no requiere mantenimiento a lo largo de su vida útil y con referencia al medio ambiente no existen emisiones de CO₂ en la atmosfera. (Kouyomgian, 2010)

2.1.5 Estudio de electrificación con energía solar en la plaza pública del distrito de LLauta-Lucanas-Ayacucho.

El objetivo principal del trabajo de investigación es un plan piloto que permitirá mejorar la calidad de vida de los pobladores de LLauta mediante la instalación de sistemas eléctricos autónomos con energía solar fotovoltaica. La metodología utilizada es realizar un análisis de investigación del sitio a implementarse el sistema solar, componentes del sistema eléctrico solar, y un análisis de costos para saber si es rentable el proyecto propuesto. Como resultado se ha comprobado que en este caso de estudio es viable para el proyecto propuesto, porque se sostiene en sus aspectos técnicos, sociales y

medio ambientales, teniendo como perspectiva futura el desarrollo de un proyecto masivo de electrificación rural a nivel regional a partir de la energía solar. Como conclusión se determina que para las zonas rurales y alejadas este estudio es viable y permitirá una mejor calidad de vida y cuenten con energías limpias y baratas. (Eliseo, 2009)

2.1.6 Aplicación de la Energía solar para electrificación rural en zonas marginales de Perú.

A pesar de ser un artículo de más de 10 años, los resultados de este artículo son muy consistente que serán de ayuda para el tema propuesto de investigación en el cual el objetivo es realizar un análisis sobre el uso de la energía solar mediante paneles fotovoltaicos para ser utilizados en comunidades rurales que se encuentran apartadas de sistemas interconectados nacional. Como metodología se realiza un análisis y un estudio de los sistemas que componen realizar un sistema fotovoltaico. En los resultados alcanzados podemos ver que el costo de inversión es alto pero es viable realizar este tipo de proyecto en comunidades rurales que no cuentan con servicios de energía eléctrica, el acceso a la energía en estas comunidades permitiría un cambio importante de la calidad de vida de los pobladores. En conclusión una de las aplicaciones más importantes de los sistemas fotovoltaicos es su utilización en zonas rurales, en las cuales no es posible hacer uso de la energía eléctrica convencional. (Anticona, 2005)

2.1.7 Propuesta de alumbrado público por medio de celdas fotovoltaicas con luminarias tipo leds para la Manga, municipio de la Yesca en el estadio de Nayarit.

Como finalidad se desarrollará un estudio para una propuesta alternativa y factible para la generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos enfocados al alumbrado público. El método de investigación que se utilizo es

analizar la situación actual del sitio propuesto, análisis de los componentes que conforman este sistema autónomo, diseño y cálculo del sistema propuesto, estudio económico, costo y beneficios. Los alcances obtenidos en el proyecto fueron llegar al análisis técnico-económico para la propuesta alternativa mediante energía solar fotovoltaica y el análisis y cálculo del sistema a implementarse. Como conclusión obtenemos que el sistema estudiado y analizado proporciona un servicio en el cual el equipo puede funcionar sin fallar hasta 15 años a excepción de las baterías que su tiempo de vida útil son de 5. (Sanchez.Rosales, 2009)

2.1.8 Estudio de factibilidad para el uso de energía solar y eólica en sistemas de alumbrado público para la vía de integración barrial, sector el Plateado servido por empresa eléctrica regional del sur.

El propósito de este proyecto es realizar un estudio de cuál es la posibilidad de utilización de la energía solar y eólica para alumbrados exteriores. El proceso metodológico fue analizar los diferentes sistemas renovables en este caso solar y eólico, realizar los cálculos y diseños pertinentes del estudio planteado y luego realizar un análisis económico-financiero del mismo. En la conclusión determinamos que el paso más importante para el diseño fotovoltaico es determinar el número de horas solares pico, para esto se fijó la radiación solar en el lugar de estudio, con la ayuda de la estación meteorológica de la Universidad Nacional de Loja, estableciéndose un promedio de 239,24 W/m^2 entre los meses con radiación más crítica en los meses de Junio y Agosto. (Chamba, 2015)

2.1.9 Análisis de la energía solar térmica y fotovoltaica para la comunidad de limoncito.

Como objetivo principal se tiene el estudio y análisis de la eficiencia solar térmica y fotovoltaica en la comunidad de Limoncito, mediante un modelo de

generación eléctrica y calefacción de agua con energía solar. El método de investigación se desarrolló realizando un análisis de la energía solar fotovoltaica y térmica, luego un análisis de viabilidad de los sistemas estudiados. El alcance de la investigación es conocer el funcionamiento de la generación de energía solar mediante paneles solares y térmicos de los cuales se analizó el beneficio que se obtendría para la implementación en esta comunidad. Concluimos que estos sistemas en diferentes sectores del país son viables para los casos de comunidades aisladas que no cuentan con acceso a redes eléctricas y desean bajar los gastos por cobro de energía eléctrica en el hogar, haciendo que los usuarios obtengan un ahorro energético y puedan disfrutar de una energía sustentable durante un periodo largo de tiempo. (Murillo, 2015)

2.1.10 Diseño y construcción de un sistema de iluminación autosustentable fotovoltaica en una parada de buses y su valla informativa del sistema integrado de transporte de Cuenca.

Como meta del proyecto se tiene diseñar e implementar un sistema fotovoltaico autónomo mediante energía solar en una parada de buses, el cual es promover de un adecuado nivel lumínico al espacio bajo la marquesina de una estación de una parada de buses del sistema integrado de transporte. La metodología usada es investigativa y científica. El alcance del proyecto fue cumplir con el objetivo, la construcción del diseño autosustentable del sistema fotovoltaico cumpliendo con los parámetros establecidos desde el inicio del proyecto. Como conclusión se obtuvo que la energía que se produce por efecto fotovoltaico tiene eficiencias que van desde los 9 a 18 % dependiendo de la fabricación de los cristales que lo conforman. (Guanín, 2015)

2.2 Principios de la energía solar

2.2.1 Radiación solar

Según (Arenas, 2011). “La radiación solar es el flujo de energía que emite el sol en forma de ondas electromagnéticas en distintas frecuencias (ultravioleta, infrarroja y luz visible)”.

La mitad de ondas electromagnéticas que recibimos están comprendidas entre 0.4 μm y 0.7 μm , las cuales pueden ser captadas por el ojo humano, formando lo que conocemos como luz visible. De la otra mitad, la mayor parte de encuentra en la parte infrarroja del espectro electromagnético y una pequeña parte en la ultravioleta. Un segmento de esta radiación que no es absorbida por la atmosfera, es la que produce quemaduras en la piel de las personas.

2.2.1.1 Radiación directa

Es aquella que se recibe directamente del sol sin haber presentado algún tipo de cambio en el transcurso de su trayectoria.

2.2.1.2 Radiación difusa

Cierta parte de la radiación que surca la atmosfera es reflejada y absorbida por las nubes. A esta radiación que se la designa como difusa, se dirige en varias trayectorias como resultado de la reflexión y la absorción, no solo de las nubes sino también de las partículas de polvo atmosférico, edificios, montañas, árboles y del propio suelo, etc. A este tipo de radiación se la caracteriza por no ocasionar sombras con respecto a los objetos oscuros interferidos. La mayor parte de la radiación solar difusa es receptada por las superficies horizontales, ya que ven toda la bóveda celeste, mientras que las verticales reciben menos porque solo ven la mitad.

2.2.1.3 Radiación reflejada

Es aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación es dependiente del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado albedo. Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no observan ninguna superficie terrestre y las verticales son las que más reciben radiación reflejada.

2.2.1.4 Radiación global

Es la sumatoria de las tres radiaciones antes mencionadas. Es la radiación total. En un cielo despejado, la radiación directa es superior sobre la radiación difusa. Por lo contrario, en un día nublado no existe radiación directa y la totalidad de la radiación que incide en la superficie terrestre es difusa.

2.2.1.5 Espectro solar

La radiación solar puede retratarse y ser analizada mediante un espectrógrafo. Las líneas oscuras que se observan en el gráfico 2.1, se designan líneas de absorción, y corresponden a la absorción de la radiación por elementos de la atmósfera solar. Con el estudio de dichas líneas se logra identificar los elementos que habitan en el sol. La línea intensa en un extremo del rojo del espectro es una de las líneas de hidrógeno, y las líneas del amarillo indican la presencia del sodio.

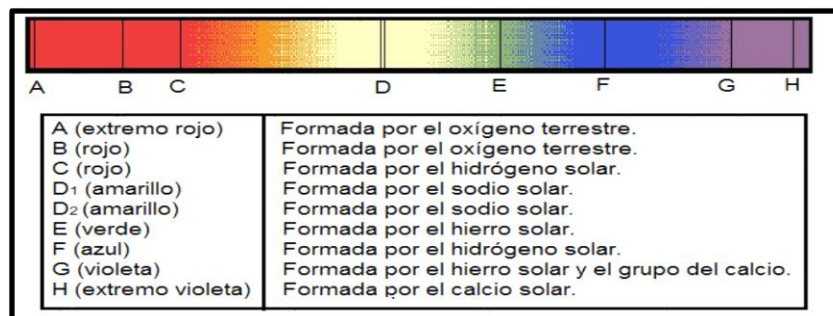


Gráfico 2.1: Espectro Solar
Fuente: (Arenas, 2011)

2.2.1.6 Dirección de Incidencia de la irradiación solar

Es de mucha importancia cuando se desea conocer la ubicación u orientación con la cual incide la irradiación solar sobre los cuerpos ubicados en la superficie terrestre. La orientación con la que el rayo direcciona su reflejo dependerá del incidente. Con este fin se determina un tipo que distingue entre dos componentes de la irradiación incidente sobre un punto: la irradiación solar directa y difusa. La sumatoria de ambas da como resultado la “irradiación total incidente”. La superficie de nuestro planeta está expuesta a la radiación procedente del sol. La tasa de irradiación depende en cada intervalo del ángulo que forman la normal a la superficie en el punto considerado y la orientación de incidencia de los rayos solares. Tomando en cuenta la lejanía del sol podemos considerar que los rayos del sol inciden de forma paralela sobre la tierra. No obstante, en cada punto del mismo, la inclinación de la superficie con relación a dichos rayos es dependiente de la latitud y del tiempo para una cierta localización en longitud. Mencionada inclinación puede definirse a través del ángulo que forman el vector normal a la superficie en mencionado punto y el vector paralelo a la dirección de incidencia de la radiación solar. (Arenas, 2011)

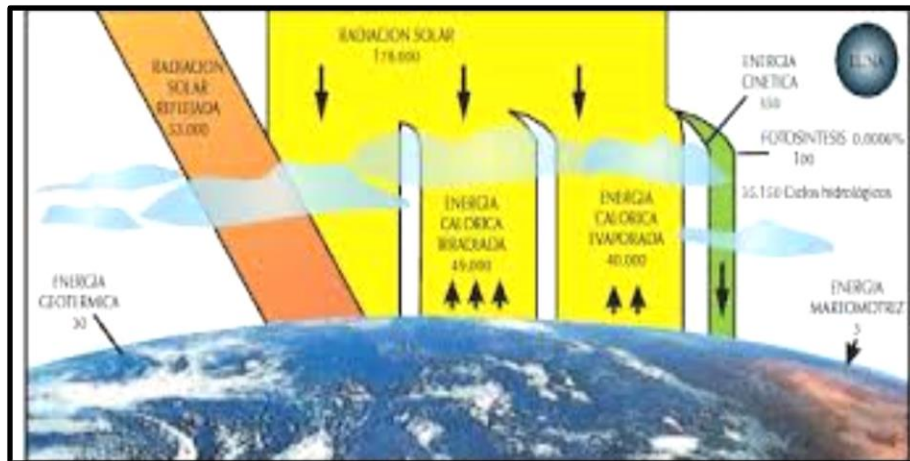


Gráfico 2.2: Energía que ingresa a la tierra en promedio cada año.

Fuente: (CONELEC, 2008)

2.2.2 Radiación solar en el Ecuador

El Ecuador es un país con gran variedad de características topológicas, de gran variedad climática y condiciones particulares que ofrecen un alto potencial para la utilización de energías renovables, las cuales no pueden quedar al margen del inventario de los recursos energéticos para la obtención de energía eléctrica, pues las condiciones de ampliación y satisfacción de la demanda que se presentan en la actualidad, demuestran un estrecho vínculo especialmente con la electrificación y energización rural. (CONELEC, 2008)

2.2.2.1 Atlas solar del Ecuador

Según el (CONELEC, 2008) el atlas solar del Ecuador es una fuente de información en la cual permite conocer los datos que representan la energía solar promedio mensual y anual de los valores diarios la insolación total, (difusa y directa) e insolación global sobre una superficie horizontal y que contiene los promedios mensuales dentro de los periodos mencionados de cada una de ellas, que se encuentran expresados en **Wh/m²/día**.

En el grafico 2.3 se aprecia la representación de la insolación difusa promedio en relación a todos los meses de cada año que se presenta en el Ecuador.

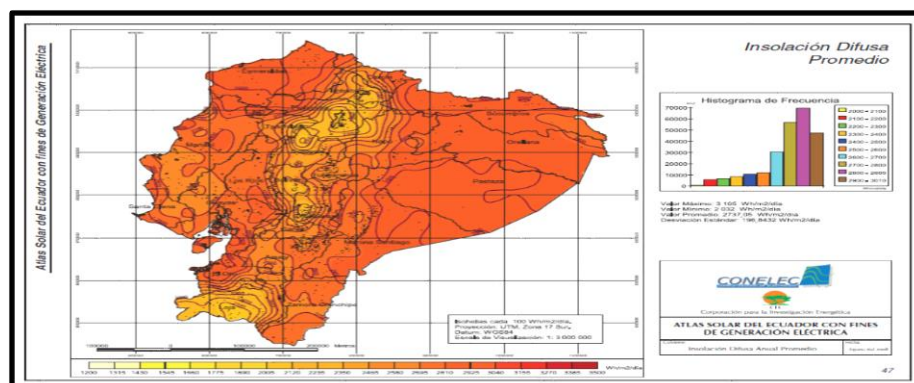


Gráfico 2.3: Insolación Difusa Promedio

Fuente: (CONELEC, 2008)

En el gráfico 2.4 se muestra la representación de la insolación directa promedio en relación a todos los meses de cada año que se presenta en el Ecuador.

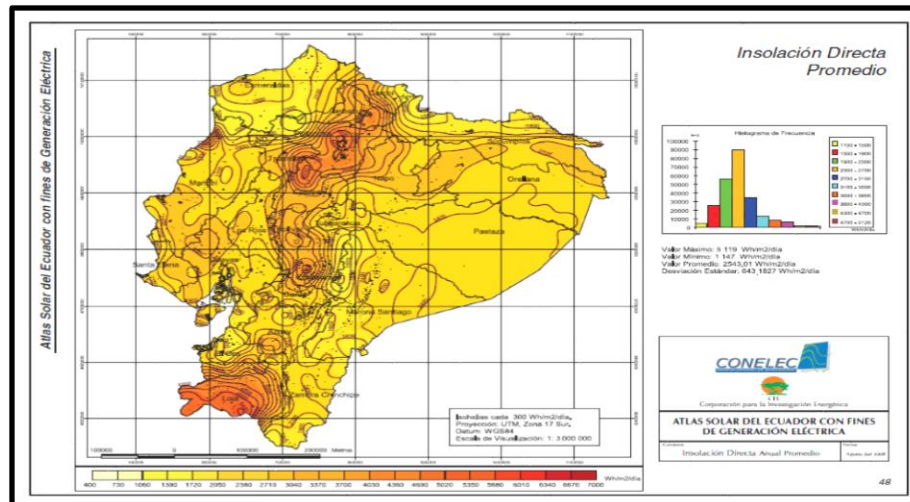


Gráfico 2.4: Insolación Directa Promedio
Fuente: (CONELEC, 2008)

En el gráfico 2.5 se muestra la representación de la insolación global promedio en relación a todos los meses de cada año que se presenta en el Ecuador.

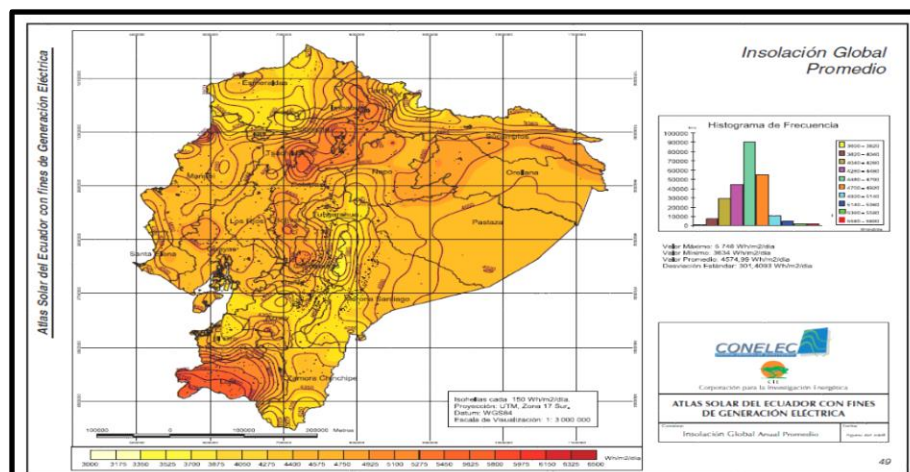


Gráfico 2.5: Insolación Global Promedio
Fuente: (CONELEC, 2008)

En el Atlas Solar del Ecuador se detallan una serie de procesos de desarrollo, en el cual se pueden realizar cualquier tipo de proyectos de diseños de sistemas eléctricos fotovoltaicos.

2.3 Sistemas fotovoltaicos

2.3.1 Energía solar fotovoltaica

La obtención de energía eléctrica basada en el fenómeno fotoeléctrico consiste en transformar la luz solar en energía eléctrica mediante dispositivos semiconductores denominados células fotovoltaicas. Estas células están diseñadas a base de silicio puro con adición de impurezas de ciertos elementos químicos como son el fosforo y el boro, y son capaces de generar cada uno, una intensidad eléctrica de 2 a 4 amperios, a una tensión de 0,46 a 0,48 voltios, utilizándose como fuente de radiación luminosa. (Bejarano, 2011)

Estas células fotovoltaicas se montan en serie sobre paneles o módulos fotovoltaicos hasta conseguir una tensión adecuada. Parte de la radiación o insolación recibida se pierde por efecto de reflexión y otra parte por transmisión que atraviesan las células. El resto es capaz de hacer saltar electrones de una capa a otra creando una intensidad eléctrica proporcional a la insolación incidente. Una capa antirreflejo aumenta considerablemente la eficacia de la célula fotovoltaica. (Bejarano, 2011)

2.3.2 Sistemas fotovoltaicos autónomos

Según (Bejarano, 2011) un sistema fotovoltaico autosustentable es el conjunto de elementos o equipos interconectados que posean independencia propia de la red convencional o de estímulos exteriores para su funcionamiento normal. En el grafico 2.6 se puede observar el diagrama de bloques de un sistema fotovoltaico autónomo, donde se pueden apreciar los equipos necesarios que deben estar interconectados para alimentar cargas en corriente

continua y en corriente alterna, en los cuales se aprecia el modulo fotovoltaico el cual genera energía eléctrica, luego el regulador de carga que es el encargado de regular el flujo de corriente y los picos de tensión que puedan afectar a los dispositivos en conjunto con el sistema, el acumulador el cual consiste en almacenar la energía generada por el módulo fotovoltaico, el inversor el cual convierte la corriente continua en alterna a una cierta potencia dependiendo del equipo, y finalmente las cargas en dc y ac dependiendo como valla formado el sistema fotovoltaico.

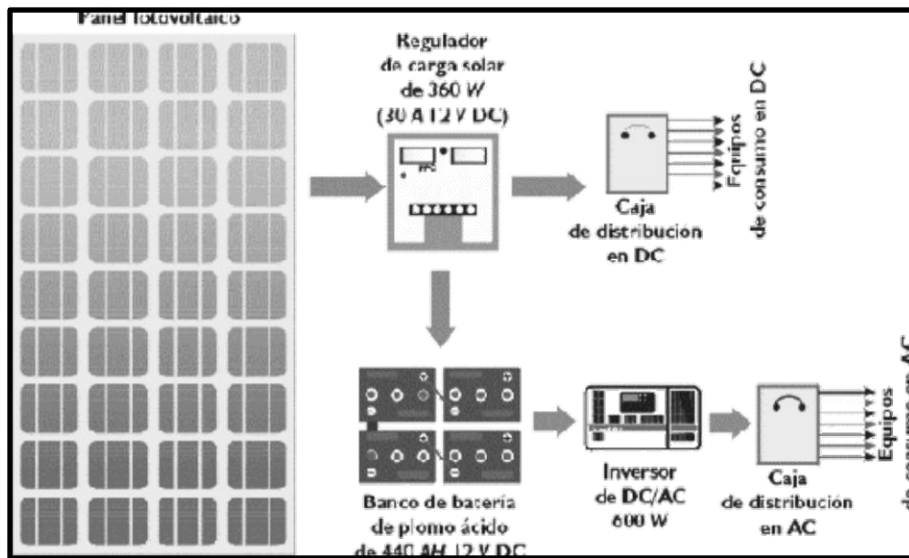


Gráfico 2.6: Diagrama de bloques general de un sistema fotovoltaico autónomo
Fuente: (Chávez, 2012)

2.3.2.1 Componentes fotovoltaicos en sistemas autónomos

Consta principalmente de los siguientes elementos dependiendo de los requerimientos de una aplicación determinada:

- Módulos fotovoltaicos
- Reguladores de carga
- Baterías o Acumuladores
- Convertidores DC/DC

- Inversores

- Módulos fotovoltaicos

También conocidos como paneles solares o fotovoltaicos, se encuentran constituidos por la unión de celdas solares o fotovoltaicas que provocan la generación de electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos. El rango estándar para clasificar su potencia se denomina potencia pico, y se corresponde con la potencia máxima que el módulo puede entregar bajo unas condiciones estándares. (Bejarano, 2011). En el grafico 2.7 se observan dos módulos solares conectados entre sí de tipo policristalino montados sobre pequeñas bases de concreto.



Gráfico 2.7: Modulo Solar

Fuente: (Kouyomgian, 2010)

- Reguladores de carga

Estos dispositivos son los encargados de ajustar y regular la intensidad eléctrica que entrega el módulo solar, ya que está en función de la irradiación o insolación solar y es capaz de exceder la capacidad de los acumuladores o baterías. El objetivo principal del regulador de carga es de proteger las baterías

de las sobrecargas y sobre descargas profundas en condiciones extremas de operación. (Bejarano, 2011). En el grafico 2.8 se puede apreciar un regulador de carga de tecnología SMD y con selección automática de tensión que atenúa daños por mala instalación del sistema, con una tensión de sistema de 12 y 24 Vdc.



Gráfico 2.8: Regulador de carga

Fuente: (Kouyomjian, 2010)

- Baterías o acumuladores

Una batería es un dispositivo que permite la acumulación de energía y su posterior suministro. En un sistema fotovoltaico la función de la batería es la de acumular la energía producida por el panel fotovoltaico durante el día, para poder utilizarla durante las noches o en periodos de mal tiempo en donde la insolación esta fuera del alcance del panel fotovoltaico. (Yerena, 2005). En el grafico 2.9 se puede apreciar un acumulador de energía de tipo AGM, la cual es libre de mantenimiento, las cuales contienen una resistencia interna muy baja las cuales permiten entregar corrientes altas, este tipo de acumuladores pueden ser sometidos a ciclos profundos de descargas y cuentan con una vida útil de cinco años aproximadamente según los fabricantes.



Gráfico 2.9: Acumulador de energía

Fuente: (Kouyomjian, 2010)

Tipos de baterías estacionarias de ciclo profundo:

- Plomo acido abiertas o de mínimo mantenimiento
- Plomo acido selladas o libres de mantenimiento
- Plomo acido gelificado cerradas o libre de mantenimiento
- Plomo acido selladas o AGM de fibra de vidrio absorbido

- Convertidores DC/DC

Se denomina convertidor DC-DC a las unidades que convierten corriente continua de una tensión a otra. Suelen ser reguladores de conmutación, dando a su salida una tensión regulada y, la mayoría de veces con limitación de corriente. Se tiende a utilizar frecuencias de conmutación cada vez más elevadas ya que permiten la disminución de la capacidad de los capacitores, con la ampliación de su volumen, precio y peso. (Arteaga, 2007)



Gráfico 2.10: Convertidor DC/DC

Fuente: (Kouyomgian, 2010)

- Inversores

Es un dispositivo o elemento que convierte corriente continua en alterna y al mismo tiempo elevan la tensión de 12 o 24 V en 110 o 220 V. Un sistema fotovoltaico sin inversor, utiliza una tensión de 12 Vcc. y una con inversor utiliza una tensión de 120 o 220 Vca.

Una vez que se almacena la energía eléctrica en los acumuladores hay dos alternativas, conectarse directamente de éste para la instalación y utilización de cargas de consumo de 12 Vcc. o 24 Vcc. utilizando un convertidor DC-DC, o bien convertir la corriente continua en alterna utilizando el inversor para suministrar tensiones de 120 O 220 Vca. (Sanchez.Rosales, 2009)



Gráfico 2.11: Inversor de corriente DC/AC
Fuente: (Kouyomjian, 2010)

2.3.3 Sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica

Un sistema fotovoltaico conectado a la red consiste en hacer uso de inversores de corriente, un dispositivo de intercambio o by pass con la red eléctrica convencional y un contador de energía bidireccional. El inversor de corriente amplifica la producción de corriente del módulo fotovoltaico y optimiza el paso de energía entre el panel y la carga. Los inversores de corriente para la conexión a la red convencional están compuestos por un dispositivo electrónico que permite extraer su máxima potencia, paso por paso, del panel fotovoltaico. Este elemento sigue el punto de máxima potencia y tiene la particularidad de producción del campo fotovoltaico a los requerimientos de la carga. El dispositivo de intercambio o by pass con la red eléctrica sirve para que la energía eléctrica introducida en la red entregue todas las características exigida por la misma. (Sanchez.Rosales, 2009).

En el siguiente gráfico 2.12 se observa una instalación eléctrica fotovoltaica conectada a la red eléctrica convencional o red externa, en el cual está conectado un medidor de energía.

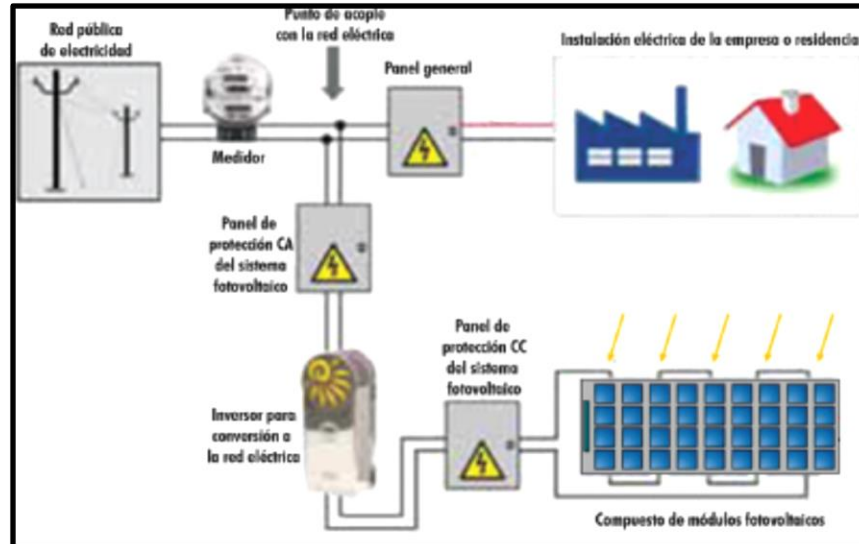


Gráfico 2.12: Sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica

Fuente: (Juarez, 2013)

2.4 Fundamentos de luminotecnia

2.4.1 Iluminación

La iluminación es la relación que incide del flujo luminoso de una fuente de iluminación hacia una superficie determinada por unidad de área, esta relación se la expresa en unidades lux, la iluminación permite a las personas poder obtener una mejor apreciación de los objetos en tiempo determinado y sin obtener fatiga visual. (Bejarano, 2011)

2.4.2 Flujo luminoso

Es la potencia (W) expresada en forma de radiación luminosa o insolación a la que el ojo del ser humano es perceptivo. La unidad del flujo luminoso se mide en lúmenes (lm). (Bejarano, 2011)

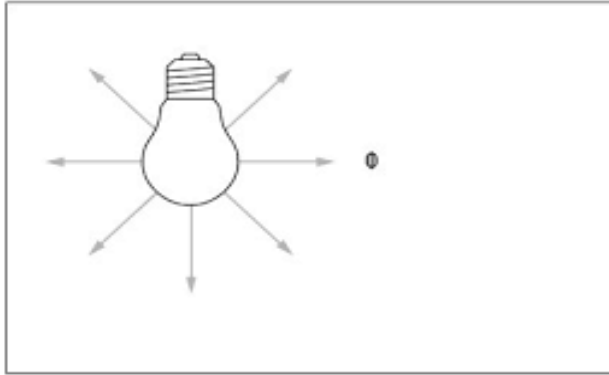


Gráfico 2.13: Representación del flujo luminoso
Fuente: (E.T.S. Arquitectura)

2.4.3 Luminancia

Es el resultado de luminosidad que origina una superficie de retina del ojo, tanto si resulta de una fuente primaria que provoca luz, tanto así de una fuente secundaria o una superficie que refleja luz. Es la analogía entre la superficie aparente vista por el ojo en una trayectoria determinada y la intensidad luminosa. La percepción de la luz es la percepción de diferencias de luminancias. (E.T.S. Arquitectura)

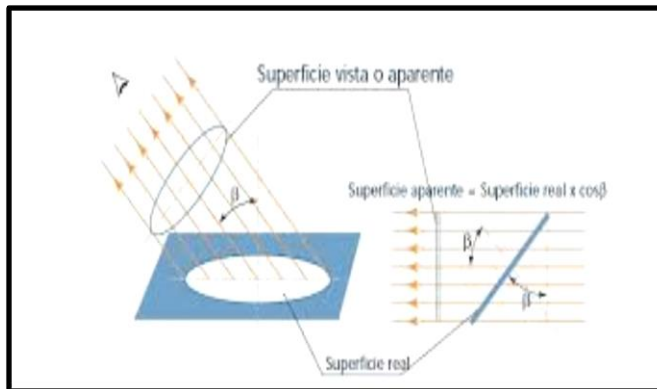


Gráfico 2.14: Luminancia de una superficie
Fuente: (E.T.S. Arquitectura)

2.4.4 Iluminancia

Es el flujo luminoso recibido por una superficie. Su símbolo es (E) y su unidad de medida es el lux que es un lumen/m². (Bejarano, 2011)



Gráfico 2.15: Concepto de iluminancia

Fuente: (E.T.S. Arquitectura)

2.4.5 Intensidad Luminosa

La intensidad luminosa de un haz de luz en una trayectoria dada, es la relación que consta entre el flujo luminoso comprendido en un ángulo solido cualquiera, cuyo eje concuerde con la orientación considerada, y el valor de dicho ángulo solido expresado en estereorradianes. (Bejarano, 2011)

2.4.6 Temperatura de color

Las fuentes de luz pueden crear ambientes cálidos o fríos en su apariencia. La temperatura de color, expresada en grados kelvin (°K), es una forma de describir esta gradación. Cuanto mayor sea la temperatura de color, la luz será más fría y azulosa. (Bejarano, 2011)



Gráfico 2.16: Escala de temperatura de los colores

Fuente: (Moral, 2014)

2.4.7 Deslumbramiento

Es una sensación o percepción incomoda que se produce cuando la luminancia de un cuerpo es mayor que la del ambiente, existen diferentes tipos de deslumbramientos. (Bejarano, 2011)

- Directo
- Indirecto
- Perturbado

En la tabla 2.1 se muestra los tipos deslumbramientos los cuales tienen un rango de molestia hacia la vista de los usuarios o personas que puedan estar expuestas a los diferentes tipos de alumbrados que existen.

Tabla 2.1: Tipos de deslumbramiento

G	DESLUMBRAMIENT O	EVOLUCIÓN DEL ALUMBRADO
1	Insoportable	Malo
3	Molesto	Inadecuado
5	Admisible	Regular
7	Satisfactorio	Bueno
9	Inapreciable	Excelente

Fuente: (Bejarano, 2011)

La clasificación de las vías de representan en categorías dependiendo de la velocidad a las que son contempladas, se las clasifica con una nomenclatura obedeciendo el orden del abecedario como se muestra en la tabla 2.2.

Tabla 2.2: Clasificación de las vías

CLASIFICACIÓN	TIPO DE VÍA	VELOCIDAD Km/h
A	De alta velocidad	$V > 60$
B	De velocidad moderada	$30 < V \leq 60$
C	Carriles bicicletas	-
D	De baja velocidad	$5 < V \leq 30$
E	Vías peatonales	$V \leq 5$

Fuente: (Bejarano, 2011)

Para los diversos tipos de vías existen diferentes tipos de iluminación las cuales son utilizadas dependiendo del área a iluminar tomando en cuenta la iluminancia de cada tipo de alumbrado. Esta representación de la observa en la tabla 2.3 a continuación.

Tabla 2.3: Clase de iluminación para diferentes tipos de vías

TIPO DE VÍA	ILUMINANCIA MEDIA (lux)	LUMINANCIA MEDIA (Cd/m ²)
A	35	2
B	35	2
C	30	1.9
D	28	1.7
E	25	1.4

Fuente: (Bejarano, 2011)

Al realizar un análisis de estas tablas las mismas que se encuentran en función y situación de uso, se toma un rango aproximado de 20 a 25 lux para áreas en las que son transitadas por peatones en parques, plazas, jardines, etc. (Bejarano, 2011)

2.4.8 Alumbrado público en el Ecuador

El Ecuador se presenta como un país en avance hacia la eficiencia energética en iluminación en espacios públicos, por lo que se debe realizar una inversión económica de gran cuantía para que así a través de luminarias de últimas tecnologías que brindan mayor eficiencia en el mercado actual llegar hacia la categoría de mayor eficacia.

En el Ecuador se registra un 6% del consumo eléctrico y se encuentra categorizado con la siguiente topología: (Chamba, 2015)

- Alumbrado público general (iluminación de vías)
- Alumbrado público ornamental (iluminación de parques, plazas, iglesias, monumentos, etc.)
- Alumbrado público intervenido

Las cuales se detallan en la regulación No. CONELEC 005/14, la misma que describe las condiciones económicas, técnicas y financieras que permiten a las empresas distribuidoras de energía eléctrica prestar el servicio de iluminación en espacios públicos con calidad, eficiencia y cómodos precios. (Chamba, 2015)

En la tabla 2.4 se explica el consumo eléctrico de la iluminación pública que existe en el Ecuador con respecto a la demanda, energía, facturación y luminarias en los que se puede apreciar el porcentaje y la cantidad de cada uno de los ítems mencionados.

Tabla 2.4: Consumo eléctrico de iluminación pública en Ecuador

ITEM	CANTIDAD	PORCENTAJE
Demanda	189 MW	5,68%
Energía	963,72 GWh	4,95%
Facturación	120.670.000 USD	-
Luminarias	1.232.602	100%

Fuente: (Chamba, 2015)

En la tabla 2.5 se muestran los tipos de tecnologías que se usan para el alumbrado público en los cuales se hace una estimación de las cantidades, las cuales son usadas en el Ecuador.

Tabla 2.5: Alumbrado público por tipo de tecnología en Ecuador

TIPO	CANTIDAD
Fluorescente	3.552
Vapor de mercurio	85.725
Presión de Sodio	1.088.817
Reflectores	37.600
Semáforos	6.660
LED	4.347
Otras	5.901
Total	1.232.602

Fuente: (Chamba, 2015)

2.4.8.1 Luminarias convencionales y luminarias LED

En el Ecuador, hace 5 años aproximadamente se hacía uso de luminarias de tipo de presión de mercurio en la parte de alumbrado público o espacios exteriores, pero investigaciones posteriores determinaron que su elemento fundamental es excesivamente contaminante e ineficiente, por tal motivo fueron sustituidas por luminarias de alta presión de sodio, las cuales actualmente se encuentran en funcionamiento en la mayor parte del país, ya que son menos contaminantes en relación a las de presión de mercurio, el inconveniente de las luminarias de presión de vapor es su baja eficiencia. En los últimos dos años se ha realizado análisis de posibilidad acerca del uso de la tecnología led en espacios exteriores, ya que contienen bajo consumo de energía, larga vida útil y mayor rendimiento debido a su trayectoria del flujo luminoso y debido a esto se ha considerado realizar el estudio de estos tres tipos de luminarias, además se establece una tabla comparativa acerca de estas tecnologías. (Chamba, 2015)

Tabla 2.6: Características de luminarias para alumbrados públicos

CARACTERISTICAS	VAPOR DE MERCURIO	VAPOR DE SODIO	TIPOS LED
Vida útil (horas)	8.000	24.000	50.000 a 100.000
Eficacia (lm/W)	40-60	45-150	80-100
Temperatura de color (K)	4.100	1.900-2.200	2.700-5.700
Calor a disipar	46%	37%	75%-85%
Costo inicial	Alto	Bajo	Alto
Costo de operación	Bajo	Bajo	Bajo
Encendido (min)	10	3-5	Instantáneo
Reencendido (min)	3	1	Instantáneo

Fuente: (Chamba, 2015)

2.4.8.2 Lámparas de vapor de mercurio

Este tipo de lámpara consiste en un tubo de descarga de cuarzo relleno de vapor de mercurio, es cual contiene dos electrodos principales y uno auxiliar para facilitar el arranque. Mientras va incrementando la presión del vapor de mercurio dentro del tubo de descarga, la radiación ultravioleta a baja presión es mínima con respecto a las emisiones en la zona visible (violeta de 404,7 nm, azul 435,8 nm, verde 546,1 nm y amarillo 579 nm). Para iniciar con el encendido se recurre a un electrodo principal que ioniza el gas inactivo que contiene el tubo y facilita el inicio de la descarga entre los electrodos principales. (Chamba, 2015)

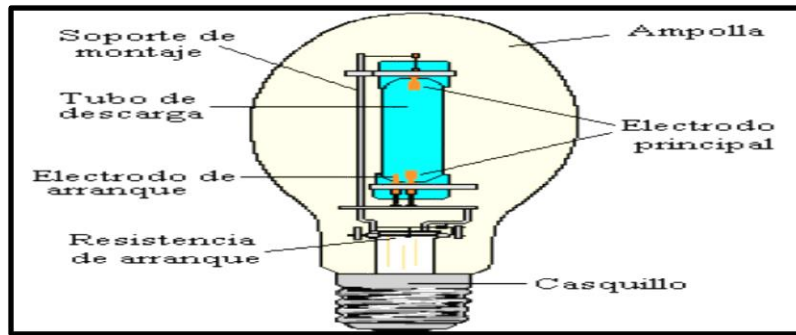


Gráfico 2.17: Foco de vapor de Mercurio

Fuente: (Bejarano, 2011)

2.4.8.3 Lámparas de vapor de sodio

Según (Chamba, 2015) este tipo de lámpara es una de las fuentes más eficientes ya que generan una gran cantidad de lúmenes por vatios, el color del flujo luminosos que produce es amarillo brillante. Se divide en dos tipos:

- Vapor de sodio a baja presión (SBP)

Este tipo de lámpara es la que genera más lúmenes por vatios en el mercado, la desventaja de este tipo de lámparas es que la producción de los colores es muy pobre.

- Vapor de sodio a alta presión (SAP)

Este tipo de lámparas son las más utilizadas para la iluminación pública ya que tiene alto rendimiento y la producción de los colores se incrementa considerablemente para ciertas formas de uso. Este tipo de lámparas tienen una distribución espectral que abarca casi todo el espectro visible entregando un flujo luminoso de color blanco dorado mucho más agradable que las que proporcionan las de baja presión.

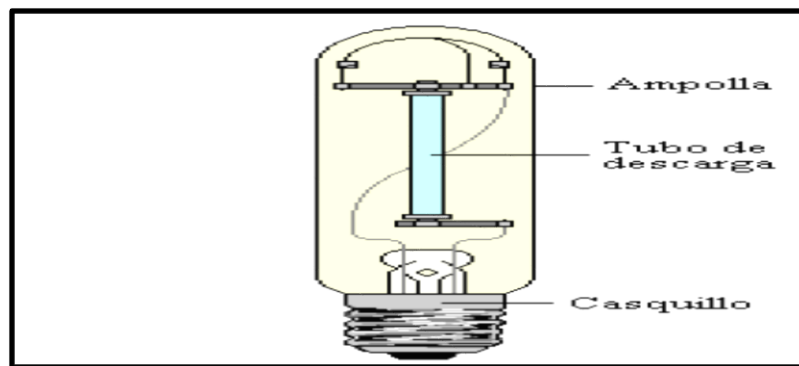


Gráfico 2.18: Foco de vapor de Sodio

Fuente: (Bejarano, 2011)

2.4.8.4 Iluminación LED

En las luminarias led su rendimiento depende de la intensidad de trabajo. Estas luminarias pueden ser alimentadas a distintas intensidades, es significativo saber que la alimentación es siempre en corriente continua y constante. Las corrientes estándares suelen ser 350 mA, 500 mA, 700 mA, 1 A y 1,5 A. La mayor eficacia se logra a 350 mA, no obstante a doble intensidad de trabajo le corresponde tan solo un 1,65 de flujo luminoso, así mismo depende de su temperatura de trabajo. El valor que viene de fábrica del diodo se le realiza una medición del flujo luminoso de un led en un encendido instantáneo en condiciones de laboratorio ($T_a = 25^\circ\text{C}$) y con el led a 25°C . (Chamba, 2015)

También se ha determinado que las luminarias led son capaces de producir luz de alta intensidad a través de una amplia difusión de las frecuencias, lo que las hace excelentes en los nuevos sistemas de iluminación actuales. Para obtener efectos de iluminación de mayor rendimiento, es importante percibir la luz obtenida a través de diferentes lugares de destino y estimar las propiedades desconocidas como son las amplitudes, desplazamientos de frecuencia y fases de las señales de modulación, esto facilita el diseño de las formas de onda de conducción para las luminarias led.

Para obtener los niveles de iluminación requeridos es preciso controlar la amplitud de transmisión y ciclo de trabajo. La amplitud del flujo luminoso por lo general se mantiene constante en la práctica. Por lo tanto, el controlador tiene que seleccionar el ciclo de trabajo para cada led para alcanzar un efecto de iluminación deseado y así obtener una alta eficiencia al momento de realizar el trabajo.

Existe un sistema de localización que toma mediciones en distintos lugares de destino en los cuales el controlador de la luminaria percibe mediante las caídas de voltajes del módulo fotovoltaico el ciclo que realiza el sol durante el día. Estas mediciones son alimentadas nuevamente al controlador que estima los niveles de iluminación y ajusta los ciclos de trabajo para las formas de onda posteriores con el objetivo de lograr los flujos luminosos deseados. (Chamba, 2015)



Gráfico 2. 19: Foco tipo LED
Fuente: (Kouyomgian, 2010)

2.5 Sistemas de control basados en microcontroladores

2.5.1 Microcontrolador

Un microcontrolador es un circuito integrado que en su parte interna contiene una unidad central de procesamiento (CPU), unidades de memoria (RAM y ROM), periféricos y puertos de entrada y salida. Estas piezas están interconectadas dentro del microcontrolador, y en unidas forman lo que se conoce como microcomputadora. Esto quiere decir que un microprocesador es una microcomputadora encapsulada en un circuito integrado. Un microcontrolador es un ordenador que se le asignan a varias aplicaciones. En su memoria reside un programa consignado a administrar una determinada aplicación dependiendo del trabajo que se vaya a realizar; sus líneas de entrada y salida contienen el conexionado de los sensores y actuadores del elemento a controlar, y todos los demás recursos tienen como objetivo atender sus imposiciones. Una vez que se le asigna la tarea al microprocesador está programado y configurado solamente para obedecer la tarea asignada. (Despradel, 2008)

A continuación se observa en la gráfica 2.20, un diagrama de flujos en el cual se aprecia la representación de un microcontrolador, el cual expresa la forma de trabajo y los elementos que conforman al microcontrolador, desde el inicio hasta el final del trabajo que realiza.

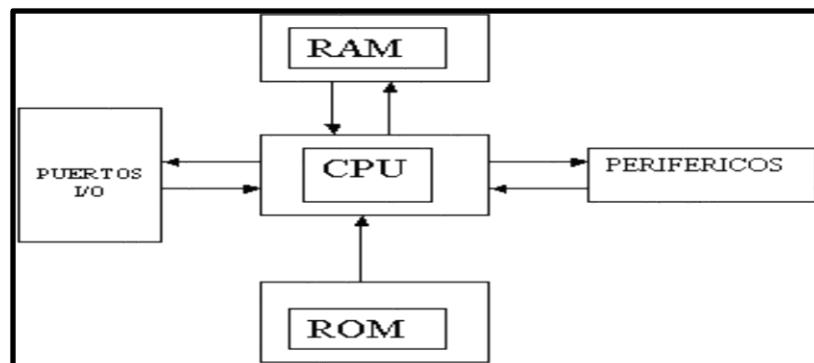


Gráfico 2.20: Diagrama representativo de un microcontrolador

Fuente: (Despradel, 2008)

2.5.2 Características de los microcontroladores

Según (Torres, 2009) las principales características de los microcontroladores son:

- Unidad de procesamiento central (CPU)

Usualmente de 8 bits, pero también se encuentran de 4, 32 y hasta 64 bits con arquitectura tipo Harvard, con memoria/bus de datos distanciada de la memoria/bus de instrucciones del programa.

- Memoria del programa

Es una memoria ROM (Read-Only Memory), EEPROM (Electrically Erasable/Programmable ROM), EPROM (Electrically Programmable ROM) o Flash que acumula el código del programa que usualmente puede ser de 1 kilobyte a varios megabytes.

- Memoria de datos

Es una memoria RAM (Random Access Memory) que propiamente puede ser de 1, 2, 4, 8, 16 y 32 kilobytes.

- Generador de reloj

Frecuentemente un cristal de cuarzo de frecuencias que generan una señal oscilante de entre 1 a 40 MHz, o también resonadores o circuitos RC.

- Interfaz de entrada/salida

Puertos paralelos, seriales (UARTs, Universal Asynchronous Receiver/Transmitter), I²C (Intel-Integrated Circuit), Interfaces de periféricos Seriales (SPIs, Serial Peripheral Interfaces), Red de áreas de controladores (CAN, Controller Area Network), USB (Universal Serial Bus).

El proceso de desarrollo de una aplicación basada en un microcontrolador se compone de las siguientes etapas principales. (Torres, 2009)

2.5.3 Proceso de Desarrollo

De acuerdo con (Torres, 2009) se menciona que el proceso de desarrollo de una aplicación basada en un microcontrolador se compone de las siguientes etapas principales.

2.5.3.1 Desarrollo del Software

Esta fase corresponde a la escritura y clasificación de los programas que regirán las funciones del microcontrolador y sus sistemas periféricos.

En el posterior grafico se muestra dos alternativas usuales que tiene el desarrollador para producir el código de máquina que es entendido por el microcontrolador. (Torres, 2009)

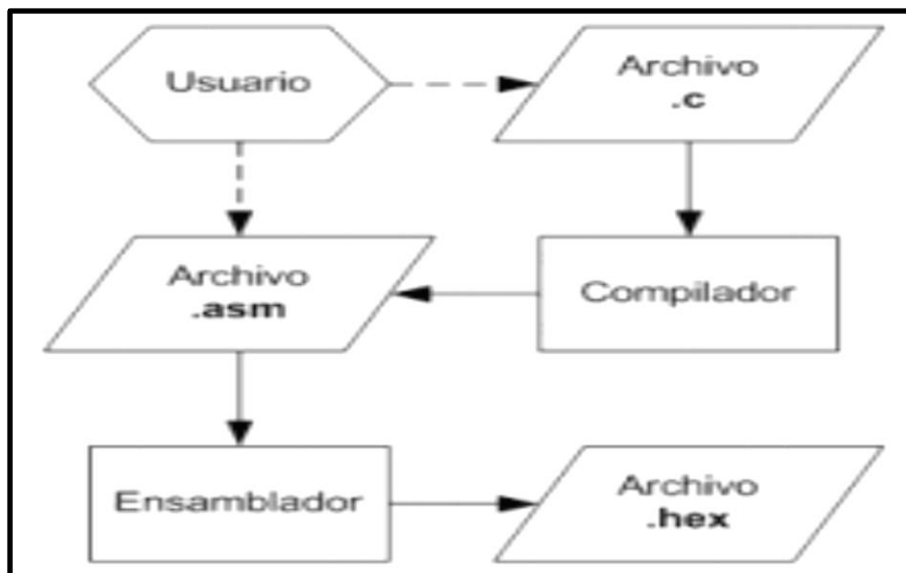


Gráfico 2.21: Etapas del desarrollo del Software

Fuente: (Torres, 2009)

2.5.3.2 Programación del Microcontrolador

En esta fase el código de máquina correspondiente al programa desarrollado en la etapa anterior se descarga en la memoria del microcontrolador.

Este transcurso consiste en manipular un programa en el PC que toma como muestra el código enlazado (.hex, .o, .bin, .coff) para el microcontrolador definido por el usuario y se lo envía mediante un puerto a un dispositivo que lo escribe en la memoria del microcontrolador. Se acostumbra a denominar programador tanto al software como al hardware implicado en este propósito, lo cual puede llevar a un desconcierto. El software programador muchas veces también recibe el nombre de downloader, ya que su objetivo es descargar o transferir desde la PC hasta el microcontrolador. Es de gran importancia mencionar que el desarrollo o programación del software se refiere a escribir el programa mientras que la programación del microcontrolador se refiere a transferir el código de máquina a la memoria del microcontrolador. (Torres, 2009)

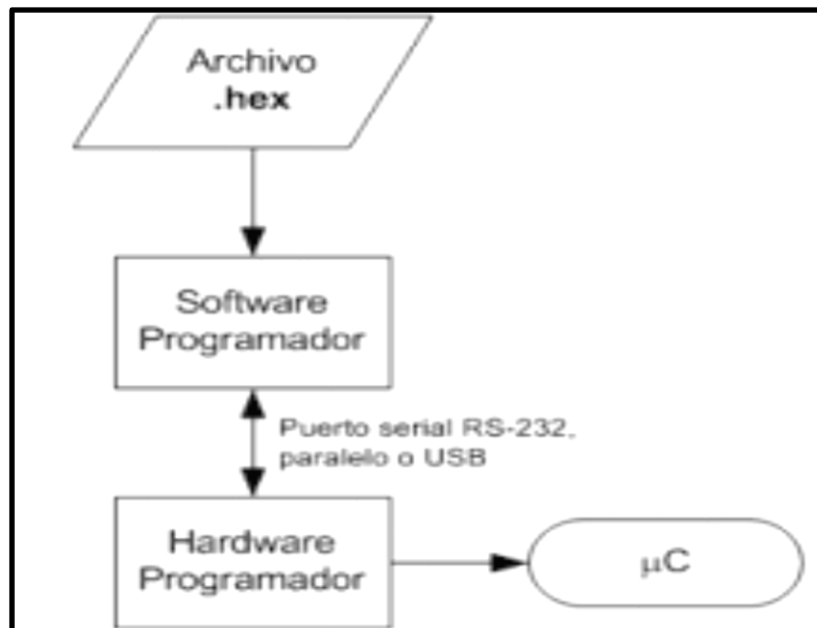


Gráfico 2.22: Programación del Microcontrolador

Fuente: (Torres, 2009)

2.5.3.3 Prueba y Verificación

El microcontrolador debe conectarse al circuito base y luego debe ser sometido a pruebas de funcionamiento del programa.

Una vez que se programe el microcontrolador, se lo puede instalar en el circuito final para corroborar su apropiado funcionamiento. Existen herramientas de software que admiten simular el comportamiento de un microprocesador, muy didáctico y útil cuando el programa se torna más complejo. Para solucionar problemas en un circuito real, el instrumento más utilizado es el analizador lógico. (Torres, 2009)

PARTE II APORTACIONES

CAPÍTULO 3

DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 Introducción

El dimensionado de un sistema solar fotovoltaico es una sucesión de métodos en los cuales se deben realizar cálculos para conseguir mejorar el uso y la generación de la energía fotovoltaica. Lo primero que se debe considerar en el momento de realizar el diseño, es la demanda de energía que se va a tener.

Para conocer cuál es la demanda eléctrica, se deben tener en cuenta las características eléctricas de los dispositivos y equipos a alimentar y el tiempo de uso de los mismos. Es decir, es necesario conocer o estimar la intensidad eléctrica y la tensión de trabajo de los equipos instalados y el número de horas diarias de trabajo, tomando en cuenta un pequeño dimensionamiento para ampliaciones futuras, si se requieren.

El siguiente aspecto a ser tomado en cuenta en el diseño eléctrico fotovoltaico, es la importancia de la cantidad de insolación global o total que incide en el día sobre los módulos solares, este se expresa en $\text{KWh/m}^2/\text{día}$ u horas de sol pico (HSP). Este dato se puede obtener en el “Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica”.

3.2 Análisis del área a iluminar

El sistema eléctrico fotovoltaico tiene como objetivo la iluminación de un sitio específico de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, en este caso

se va a iluminar una parte de las escalinatas laterales junto al jardín que se encuentra frente a los cursos y laboratorios de Ing. Agropecuaria.

Se definió este sitio ya que el área no cuenta con iluminación propia, y se aprovecha que en la zona se encuentra un poste ya instalado de concreto de 9 metros de altura, el cual servirá para hacer uso del montaje e instalación de la lámpara, dispositivos y equipos que conforman el sistema fotovoltaico.

El área que va a ser iluminada tiene un promedio de 20 m^2 (10 mts de largo de la superficie y 2 mts de ancho), ya que corresponde a una parte de las escalinatas y con relación al área establecida se procede a realizar el análisis mediante un proceso de cálculos en el cual se va a obtener los lúmenes correspondientes que se van a necesitar para la correcta iluminación del sitio establecido.

3.2.1 Calculo del flujo luminoso total necesario

Para realizar el cálculo del flujo luminoso total se va a utilizar el método de los lúmenes, sistema general o método del factor de utilización, que corresponde a la siguiente ecuación. (E.T.S. Arquitectura)

$$\Phi_t = \frac{E_m \cdot S}{C_u \cdot C_m}$$

Dónde:

Φ_t = flujo luminoso

E_m = nivel de iluminación promedio en lux

S = superficie o área a iluminar

C_u = coeficiente de utilización

C_m = coeficiente de mantenimiento

Para continuar con los cálculos, antes hay que definir los datos de entrada:

- Dimensiones del sitio o superficie a iluminar

a = ancho de la superficie (en m) = 2m

b = largo de la superficie (en m) = 10m

H = altura promedio (en m) = 5m

- Nivel de iluminancia media

Según los datos que proporciona el INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización), en el reglamento técnico Ecuatoriano RTE INEN 069 “Alumbrado Público”, obtenemos la tabla 3.1. (INEN, 2012)

Tabla 3.1: Niveles de iluminación en Zonas recreativas

CLASIFICACIÓN	ILUMINANCIA PROMEDIO EP. (LUXES)	UNIFORMIDAD GENERAL U _o (%)
Canchas deportivas	50	45
Bulevar	60	45
Piletas	40	40
Andenes y camineras	30	40
Ciclovías en parques	30	40
Área de juegos infantiles	30	40
Área de gimnasio municipal	30	40
Área de descanso	25	40

Fuente: (E.T.S. Arquitectura)

En este caso como el área que va a ser iluminada corresponde a unas escalinatas en por donde solo van a circular personas, se selecciona **Andenes y Camineras que corresponde a 30 lux promedio.**

Para obtener el coeficiente de utilización, se hace una relación entre los lúmenes emitidos por la lámpara y el periodo de trabajo al que va a estar sometida la misma, para este caso se utilizara un coeficiente de utilización de **$C_u = 0,95$** ya que la lámpara va a trabajar en diferentes porcentajes en el cual variara el flujo luminoso durante su periodo de trabajo establecido.

Para determinar el coeficiente de mantenimiento se hace referencia al medio en el que va a estar expuesta la lámpara, al grado de suciedad ambiental. En este caso el sitio en donde va a estar situada la lámpara es un ambiente en el cual no se presentan niveles de suciedad ambiental como por ejemplo polvos, gases etc., por esta razón mediante la tabla 3.2 se seleccionara el coeficiente correspondiente a la misma el cual corresponde a **0,8**.

Tabla 3.2: Cálculo para el coeficiente de mantenimiento

AMBIENTE	COEFICIENTE DE MANTENIMIENTO C_m
Limpio	0.8
Sucio	0.6

Fuente: (E.T.S. Arquitectura)

Con todos los datos que se han obtenido mediante cálculos se puede obtener el flujo luminoso total necesario para la superficie correspondiente.

$$\Phi_t = \frac{E_m \cdot S}{C_u \cdot C_m}$$

En donde se reemplazan con los datos siguientes.

$$\Phi_t = \frac{(30 \text{ luxes}) (20 \text{ m}^2)}{0,95 \cdot 0,8}$$

$$\Phi_t = \mathbf{789,5 \text{ lúmenes}}$$

El flujo total necesario que necesita el área o la zona que se va a iluminar es de **789,5 lúmenes**.

En el grafico 3.1 se aprecia una gráfica de la vista isométrica del sistema de alumbrado fotovoltaico, en el cual se puede apreciar las dimensiones en las cuales se va a iluminar el área y la ubicación de la lámpara led, que consiste en ubicarla a 5 mts de altura para que ilumine un área de 20 metros cuadrados, 2 metros hacia el frente de la lámpara y 5 metros hacia cada extremo de la misma.

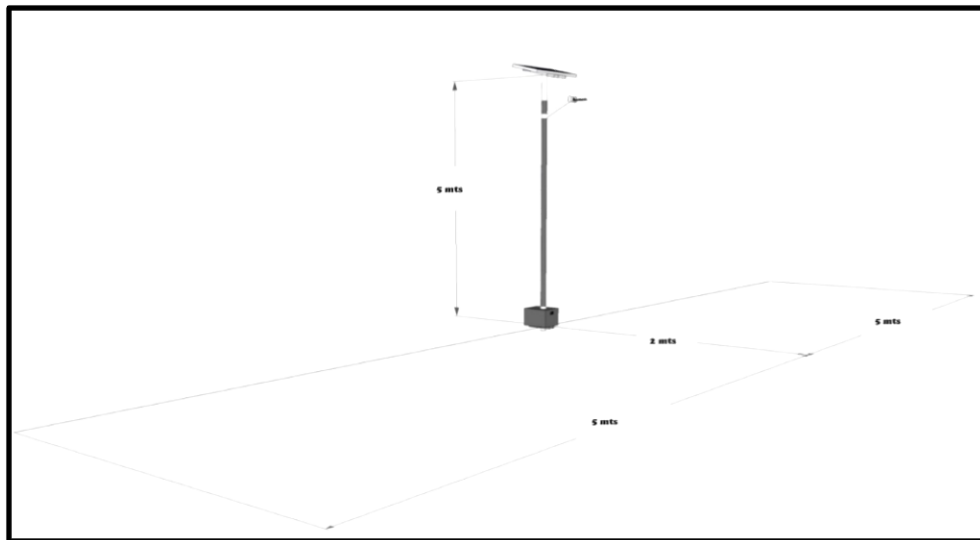


Gráfico 3.1: Vista isométrica del sistema fotovoltaico

Fuente: El Autor

3.3 Selección del tipo de lámpara

Para un sistema eléctrico fotovoltaico es importante elegir una fuente luminosa de alta eficiencia y rendimiento ya que los módulos fotovoltaicos limitan la capacidad de suministrar energía dependiendo de la carga instalada. Para este proyecto se ha seleccionado una lámpara exterior tipo Led de alta eficiencia, a continuación se observan las características técnicas del tipo de luminaria a emplearse correspondiente a los cálculos anteriores que se realizaron para obtener el nivel de lúmenes necesarios para el área a iluminar. En este caso se va a utilizar una lámpara led de 15 W, que proporciona 1350 lm ya que es la luminaria más próxima que se encontró en el mercado. En la tabla 3.3 se pueden observar sus características técnicas.

Tabla 3.3: Características técnicas de la luminaria led

Corriente máxima	600 mA
Potencia	15 W
Flujo luminoso	1350 lm
Eficiencia luminosa	98 lm/W +/- 5%
Índice CRI	70%
Temperatura de color	5600 K
Angulo de iluminación	Tipo AO 85° x 130° asimétrico.....Tipo R 120°
Vida útil	50.000 h
Fuente de alimentación	12 Vdc

Fuente: El Autor

En el grafico 3.2 que se muestra a continuación, se puede observar el modelo de la curva o diagrama polar y cartesiano de la lámpara led.

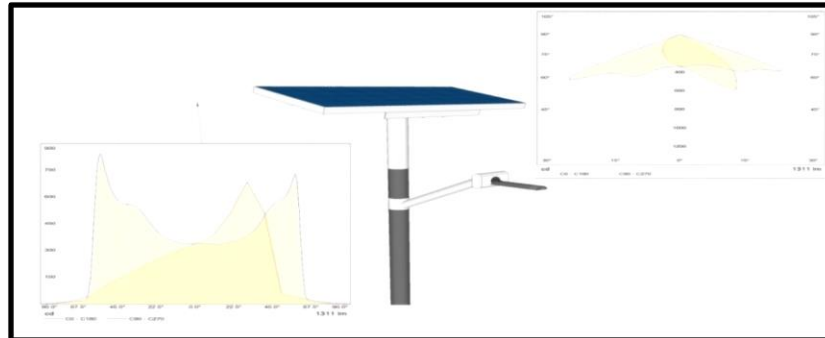


Gráfico 3.2: Curva polar y Diagrama cartesiano
Fuente: El Autor

3.4 Cálculo y dimensionamiento del sistema fotovoltaico

Antes de iniciar con el dimensionamiento de cada uno de los dispositivos que conforman el sistema de iluminación fotovoltaico, se definirá el uso, la función que realizara cada uno de ellos y las características del sistema en general.

3.4.1 Descripción del sistema

- Modulo fotovoltaico

Será el encargado de generar la energía suficiente para alimentar todo el sistema de iluminación a 12 Voltios en corriente continua y para que el acumulador pueda almacenar la energía necesaria para que el sistema en general trabaje durante su periodo de funcionamiento programado.

- Regulador de carga

Este dispositivo servirá para ajustar y regular la intensidad eléctrica que suministrara el modulo solar hacia el acumulador de energía para luego ser entregada a la carga en este caso la lámpara led.

- Acumulador de energía

La función del acumulador, como lo dice el nombre servirá para acumular la energía que suministrara el modulo fotovoltaico para luego ser entregado a la lámpara led y poder abastecer de energía durante el periodo de trabajo o funcionamiento al que este ajustado el sistema.

- Tarjeta de control

Este dispositivo será el encargado de controlar el flujo de intensidad luminosa que suministrara la lámpara led y el tiempo de accionamiento de la misma, el cual será programado para que trabaje en un periodo de 12 horas, las primeras 6 horas que será desde las 18:00 al 100% de su capacidad y las siguientes 6 horas que serán desde las 00:00 hasta las 6:00 en un 30% de su capacidad.

- Lámpara led

Será la encargada de proveer de los lúmenes necesarios que se necesitan para iluminar el área o la superficie establecida en el proyecto.

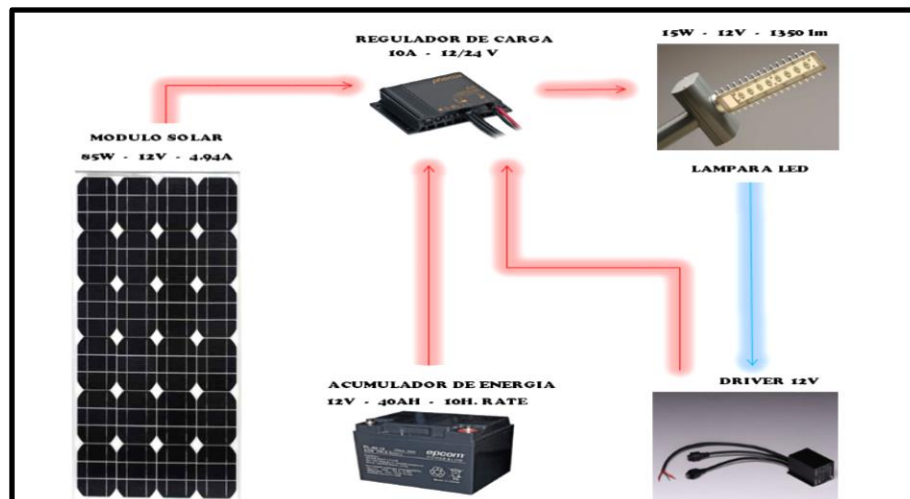


Gráfico 3.3: Sistema de iluminación fotovoltaico

Fuente: El Autor

3.4.2 Funciones del sistema de iluminación fotovoltaico

Las funciones del sistema fotovoltaico son las siguientes:

- Generar energía

Mediante el modulo solar fotovoltaico se generará energía eléctrica a una tensión de 12 Vcc, el cual hará que el sistema fotovoltaico sea autosustentable que servirá para cargar el acumulador de energía y consiguiente a esto se alimentara la carga que será la lámpara led.

- Iluminar

La fuente de iluminación será una lámpara led microcontrolada la cual tendrá un flujo de iluminación de 1350 lm en un área de 20 mts cuadrados a una altura de 5 mts, la cual contiene 8 diodos led de alta potencia.

- Ahorrar energía

El ahorro de energía corresponde al control de la cantidad del flujo de luminoso, mediante el accionamiento y a la eficiencia de la lámpara led.

3.4.3 Características del sistema de iluminación fotovoltaico

Las características y datos de cada uno de los equipos y dispositivos que conforman el sistema de iluminación fotovoltaico, como son el modulo fotovoltaico, el acumulador de energía, el controlador de carga, la tarjeta de control, el driver o fuente de alimentación, la lámpara tipo led y las características o parámetros obtenidos mediante los cálculos anteriores se detallan en la tabla 3.4.

Tabla 3.4: Dispositivos que conforman el sistema de iluminación fotovoltaico

DISPOSITIVOS	CARACTERISTICAS TÉCNICAS
Módulo solar	Sunlink modelo SLO80-12M 85, 12 Vdc nominal 85 W
Regulador de carga	Phocos CIS 12/24 Vdc 10/10 Amp, IP68, temporizador, 12/24 V, 10 Amp.
Acumulador de energía	Ritar Power RA 1240, 12Vdc 40 Ah, 12 Horas
Tarjeta de control	Phocos driver led 12 Vdc SL-D-B 11....30 W
Lámpara led	Phocos luminaria publica led 15 W SL15, 600 mA, 1350 lm, 12 Vdc
Tensión del sistema	12 Vdc
Potencia del sistema	85 W
Lúmenes de la lámpara	1350 lm
Energía diaria consumida	117 (Wh/día)
Carga diaria total	10,72 (Ah/día)
Corriente pico del sistema	3,15 Amp

Fuente: El Autor

3.4.4 Dimensionamiento del módulo fotovoltaico

La demanda del sistema fotovoltaico será la lámpara que se menciona en el ítem anterior la cual tiene como potencia requerida 15 W. El tiempo de uso del sistema de iluminación será de 12 horas, la cual será programada para que trabaje desde las 18:00 hasta las 00:00 horas al 100 % de su capacidad y desde las 00:00 hasta las 6:00 horas al 30 % de su capacidad, este arreglo se

lo hace para optimizar el funcionamiento del sistema fotovoltaico, poder adquirir un ahorro de energía y mejorar el rendimiento de la lámpara. Para poder dimensionar el sistema fotovoltaico también se necesita saber las horas picos solares o también llamadas horas efectivas de sol, que recibirá el modulo fotovoltaico durante el transcurso del día.

Tomando los datos en el Atlas Solar del Ecuador obtenemos la siguiente tabla 3.5.

Tabla 3.5: Irradiación solar en el Ecuador

IRRADIACIÓN SOLAR EN EL ECUADOR	
Peor mes	3,4 kWh/m ²
Mejor mes	6,7 kWh/m ²
Media	4,1 kWh/m ²

Fuente: El Autor

Para el diseño del sistema fotovoltaico vamos a hacer uso de la irradiación solar del peor mes del año que es de **3,4 kWh/m²** con **3 días** de autonomía. Los días de autonomía significan que es el tiempo en los cuales el sistema mantendrá la carga energizada de forma continua, para los sistemas autónomos pequeños la recomendación mínima es de 3 a 5 días de autonomía.

En la tabla 3.6 podemos observar el tiempo de funcionamiento y consumo que va a tener la carga, en este caso la lámpara led.

Tabla 3.6: Características de funcionamiento de la lámpara Led

CARGA	POTENCIA DC (W)	USO (horas/día)	ENERGIA (Wh/día)	CARGA DIARIA (Ah/día)
Lámpara	15	6	90	7,50
Lámpara	4,5	6	27	2,25

Fuente: El Autor

Para obtener la energía y la carga total diaria se suman los dos valores de energía y carga que dan como resultado en los datos anteriores, el cual podemos observar en la tabla 3.7.

Tabla 3.7: Energía y Carga total del Sistema Fotovoltaico

ENERGÍA TOTAL (Wh/día)	CARGA DIARIA TOTAL (Ah/día)
117	9,75

Fuente: El Autor

Para la carga diaria total se va a tomar un valor para el factor de seguridad. Esto quiere decir las pérdidas del sistema que será de **1,10**.

Entonces en la siguiente tabla 3.8, obtendremos la carga corregida multiplicando la carga total diaria por el factor de seguridad.

Tabla 3.8: Carga corregida

CARGA DIARIA TOTAL (Ah/día)	FACTOR DE SEGURIDAD	CARGA CORREGIDA (Ah/día)
9.75	1.10	10,72

Fuente: (CONELEC, 2008)

Como obtuvimos en datos anteriores la irradiación solar será de **3,4 kWh/m²**.

Con este dato en la tabla 3.9, se calcula la corriente pico del sistema fotovoltaico el cual se obtendrá de la división de la carga de corriente corregida por la irradiación solar:

Tabla 3.9: Corriente pico del sistema fotovoltaico

CARGA CORRIENTE CORREGIDA (Ah/día)	IRRADIACION SOLAR	CORRIENTE PICO DEL SISTEMA
10,72	3,4 kWh/m ² .	3.15

Fuente: (CONELEC, 2008)

Con los datos obtenidos de la corriente pico del sistema se podrá dimensionar la cantidad y el modulo fotovoltaico que hay en el mercado. Para este proyecto se utilizara un módulo solar tipo monocristalino, modelo SL-080-12M de 85W, tensión de 12 Vcc, con una corriente pico de 4,94 Amp.

Temperature Coefficients	
NOCT	45 +/-2°C
Voltage temperature coefficient(Voc)	-0.37%/°C
Current temperature coefficient(Isc)	+0.035%/°C
Power temperature coefficient(Pmpp)	-0.5% /°C
Minimum power tolerance	+/-5%

NOCT:Nominal Operating cell Temperature:-40°C to + 85°C

Mechanical Data	
Solar Cell	36 Mono-crystalline 125 x 125mm
Frame	Anodized aluminium
Weight	8Kg
Dimension	1196x534x35mm

Electrical Data				
Module Type	SL 080-12M	SL 080-12M	SL 080-12M	SL 080-12M
Nominal peak power(Wp)	75W	80W	85W	90W
Nominal voltage(Vmp)	17.2V	17.2V	17.2V	17.2V
Nominal current(Imp)	4.36A	4.65A	4.94A	5.23A
Open circuit voltage(Voc)	21.60V	21.60V	21.60V	21.6V
Short circuit current(Isc)	4.80A	5.14A	5.47A	5.63A
Module efficiency	11.7%	12.5%	13.3%	13.3%
Operating Temperatre	-40 to +85°C	-40 to +85°C	-40 to +85°C	-40 to +85°C
Maximum System Voltage	1000V DC	1000V DC	1000V DC	1000V DC

Gráfico 3.4: Características del módulo fotovoltaico seleccionado

Fuente: El Autor

3.4.5 Orientación y ángulo de inclinación del módulo fotovoltaico

Los módulos solares para obtener su óptimo rendimiento deben estar expuestos a plena luz solar, es decir deben estar expuestos a irradiación solar directa, pero en la práctica no es así, los módulos solares incluso en días nublados producen energía esto significa que estarán expuesto a irradiación solar difusa. Cabe recalcar que los módulos solares deben ser orientados según la ubicación geográfica del sitio a instalarse, si se encuentran en el hemisferio norte por encima de la línea ecuatorial los módulos deben ser orientados hacia el sur y se encuentran ubicados en el hemisferio sur deben ser orientados hacia el norte.

Para este proyecto que tiene lugar en la ciudad de Guayaquil que se encuentra ubicada geográficamente en el hemisferio sur, el modulo fotovoltaico tendrá que estar direccionado hacia el norte. Las coordenadas geográficas de la

ubicación de la Facultad Técnica para el Desarrollo donde va a ser instalado el modulo solar son de -2.16667, -79.9 Latitud y Longitud, estas mismas coordenadas nos servirán para la ubicación del módulo fotovoltaico.

En la siguiente tabla 3.10, obtendremos el ángulo de inclinación del módulo fotovoltaico en función de la Latitud del lugar a ser instalado.

Tabla 3.10: Angulo de inclinación del módulo fotovoltaico en función de la Latitud del lugar

LATITUD DEL LUGAR	ÁNGULO EN INVIERNO	ÁNGULO EN VERANO
0 a 5 grados	15 grados	15 grados
15 a 25 grados	latitud	latitud
25 a 30 grados	Latitud + 5 grados	Latitud - 5 grados
30 a 35 grados	Latitud + 10 grados	Latitud - 10 grados
35 a 40 grados	Latitud + 15 grados	Latitud - 15 grados
Más de 40 grados	Latitud + 20 grados	Latitud - 20 grados

Fuente: (Bejarano, 2011)

Según esta tabla la inclinación que se ajusta para la instalación del módulo fotovoltaico de este proyecto será de 15° con orientación hacia el norte., el cual se mantendrá fijo durante todo el año. En la gráfica 3.5 se puede apreciar las coordenadas y ángulo de inclinación que determinan la ubicación del módulo fotovoltaico.

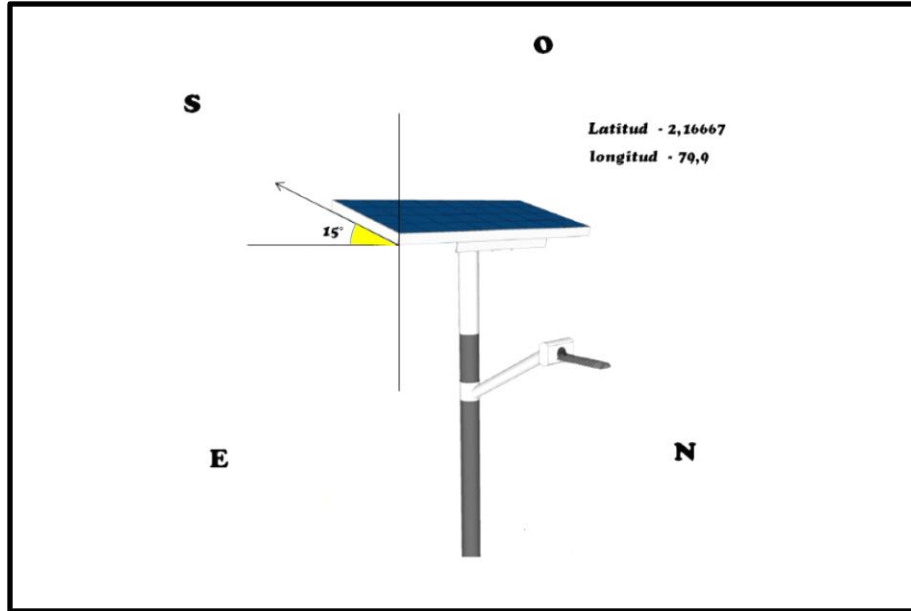


Gráfico 3.5: Orientación e inclinación del módulo solar fotovoltaico
Fuente: El Autor

3.4.6 Dimensionamiento del acumulador de energía

Para el dimensionamiento del acumulador de energía se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Días de autonomía
- La corriente pico del sistema anteriormente calculado
- El factor de la capacidad de descarga de las mismas

En la tabla 3.11, se realizan los cálculos siguientes para dimensionar el banco de baterías, en el cual la corriente corregida se multiplica por los días de autonomía, luego el resultado se divide por el factor de descarga el cual se selecciona dependiendo el trabajo de la carga, en este caso se utilizara un 80% ya que es recomendable para sistemas fotovoltaicos pequeños.

Tabla 3.11: Procedimiento para calcular el acumulador de energía

CORRIENTE CORREGIDA (Ah)	DÍAS DE AUTONOMÍA (día)	FACTOR DE CAPACIDAD DE DESCARGA	CAPACIDAD DEL BANCO DE BATERIAS (Ah)
10,72	3	0,80	40,2

Fuente: (CONELEC, 2008)

Como resultado tenemos una capacidad de 40,2 Ah, el cual en el mercado se selecciona una Batería o Acumulador de 12Vdc, 40Ah, modelo RA12-40D, de tipo AGM, de libre mantenimiento.


 RA12-40D (12V40Ah)	
RA12-40D is AGM Deep cycle battery with 10 years floating design life, specially designed for frequent cyclic discharge usage. By using strong grid and specific paste plate, it makes battery have 30% more cyclic life time than standby series. It is applicable for solar energy system, golf cart, electric wheelchair, etc..	
Specification	
Cells Per Unit	6
Voltage Per Unit	12
Capacity	40Ah@10hr-rate to 1.80V per cell @25°C
Weight	Approx. 13.0 Kg
Max. Discharge Current	400 A (5 sec)
Internal Resistance	Approx. 8 mΩ
Operating Temperature Range	Discharge: -20°C~60°C Charge: 0°C~50°C Storage: -20°C~60°C
Normal Operating Temperature Range	25°C±5°C
Float charging Voltage	13.6 to 13.8 VDC/unit Average at 25°C
Recommended Maximum Charging Current Limit	12A
Equalization and Cycle Service	14.6 to 14.8 VDC/unit Average at 25°C
Self Discharge	RITAR Valve Regulated Lead Acid (VRLA) batteries can be stored for more than 6 months at 25°C. Self-discharge ratio less than 3% per month at 25°C. Please charge batteries before using.
Terminal	Terminal F4/F11
Container Material	A. B. S. (UL94-HB), Flammability resistance of UL94-V1 can be available upon request.

Gráfico 3.6: Características del acumulador de energía seleccionado

Fuente: El Autor

3.4.7 Dimensionamiento del regulador de carga

El regulador de carga del acumulador que es para protección contra sobrecargas, en la ecuación 2, se dimensiona calculando por la ley de Ohm la

corriente en la carga y en el módulo fotovoltaico, y la sumatoria de ambos será la corriente nominal para seleccionar el regulador de carga.

$$P = V \times I$$

Despejando la corriente (I) de la ecuación 2, se obtiene la siguiente fórmula con la cual podemos calcular la corriente de Batería-Carga y Panel-Batería.

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

Batería – Carga:

$$P_{lámpara} = 15 \text{ W}$$

$$V_{batería} = 12 \text{ V}$$

$$I_1 = \frac{15 \text{ W}}{12 \text{ V}}$$

$$I_1 = 1,25 \text{ Amperios}$$

Panel – Batería:

$$Wp_{panel} = 85 \text{ W}$$

$$V_{batería} = 12 \text{ V}$$

$$I_2 = \frac{85 \text{ W}}{12 \text{ V}}$$

$$I_2 = 7.08 \text{ Amperios}$$

$$I_t = I_1 + I_2 = \mathbf{8,33 \text{ Amp.}}$$

El regulador de carga que se selecciona en el mercado es de 12/24 Vdc 10/10 Amperios, marca Phocos, Modelo CIS-



Gráfico 3.7: Grafica del regulador de carga seleccionado
Fuente: El Autor

3.5 Diseño del dispositivo controlador del sistema fotovoltaico

Para realizar el diseño del dispositivo controlador hay que basarse en las funciones en las cuales se desea que trabaje el sistema de iluminación fotovoltaico. La tarjeta de control será la encargada de controlar el accionamiento y la cantidad de flujo luminoso de la lámpara led, por lo tanto en la lámpara led debe ir integrada la tarjeta de control para poder realizar estas funciones.

Para el circuito de la tarjeta de control se utilizara el micro PIC16F887 el cual tiene 35 pines de entrada/salida o alta corriente de fuente y del drenador para manejo de LED o resistencias pull-up programables individualmente por software o interrupción al cambiar el estado del pin.

El circuito electrónico será alimentado por 12 Vcc, por el cual se utilizara un regulador 78L05, el que será encargado de reducir la tensión a 5 V para la alimentación del micro, la corriente que alimentara los diodos leds de alta potencia pasaran por cada uno de los transistores BC337 de los cuales no

pasaran por el regulador que alimentan el micro, para filtrar la alimentación de 12 Vcc se utilizaran unos capacitores de 100nF y de 22uF de 25 V y unas resistencias las cuales servirán para regular la alimentación de corriente necesaria para cada diodo led.

A continuación el en grafico 3.8 se apreciara el diseño de la tarjeta electrónica junto con la integración del micro PIC16F887 en el cual se alimentara los 8 diodos led que vienen integrados en la lámpara led.

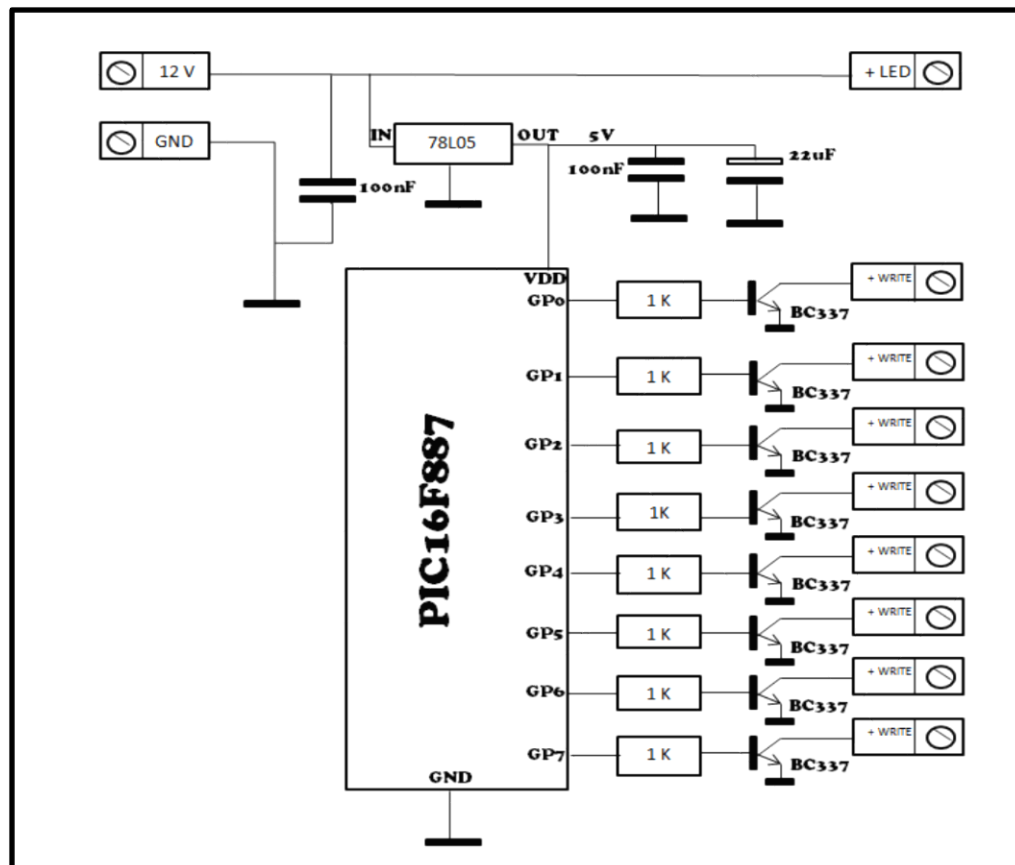



Gráfico 3.8: Diagrama electrónico de la tarjeta que controla la lámpara led

Fuente: El Autor

El dispositivo que controlara el tiempo de funcionamiento de la lámpara tanto como el flujo luminoso será un driver el cual viene integrado en la lámpara led seleccionada modelo SL-D-B de 12 Vcc, con una potencia de entrada de 15 W,

corriente de entrada de 1 Amp, con una eficiencia de 91% en el que viene integrado un microcontrolador PIC16F887. En la gráfica 3.9 se detallan las características técnicas del driver seleccionado.



SL-D-B		
Datos técnicos LED driver:		
	Funciona con:	1xSL11, 2xSL11, 1xSL15, 2xSL15, 1xSL15 + 1xSL11
Entrada:		Cable (+ / - / dimming)
	Voltaje de operación:	12V (11 ... 15V)
	Potencia de entrada:	11 ... 30W (depende de la lámpara conectada)
	Corriente de entrada:	< 3A
	Eficiencia del driver LED:	91%
	Entrada Dimming:	1 ... 10V à 10 ... 100%; <0.6V a salida apagada (conectar al positivo de la fuente si no se utiliza)
Salida:		2 x conector a prueba de agua para conexión de lámparas
	Voltaje de salida:	15.5 ... 48V
	Corriente de LED:	600mA (60 ... 600mA dimmable)
Protección electrónica:	Protección de bajo voltaje:	Ca. 10.8V
	Protección de salida abierta:	Ca. 56V
	Protección de polaridad inversa:	Si
	Protección de sobre temperatura:	OTP en el driver de LED, OTP para 2 lámparas

Gráfico 3.9: Características del driver seleccionado para la lámpara led

Fuente: El Autor

De acuerdo a los apuntes de (Gonzales, 2013) las características básicas del PIC16F887 son la frecuencia de operación 0-20 MHz, 8bit, oscilador interno de alta precisión, voltaje de la fuente de alimentación de 2.0V a 5.5V o Consumo: 220uA (2.0V, 4MHz), 11uA (2.0 V, 32 KHz) 50nA (en modo de espera), ahorro de energía en el Modo de suspensión, brown-out Reset (BOR) con opción para controlar por software, 35 pines de entrada/salida o alta corriente de fuente y del drenador para manejo de LED o resistencias pull-up programables individualmente por software o interrupción al cambiar el estado del pin, memoria ROM de 8K con tecnología FLASH, opción de programación serial en el circuito, 256 bytes de memoria EEPROM o Los datos se pueden grabar más

de 1.000.000 veces, 368 bytes de memoria RAM, convertidor A/D: o 14 canales o resolución de 10 bits, 3 temporizadores/contadores independientes, temporizador perro guardián, módulo comparador analógico con módulo PWM incorporado y puerto Serie Síncrono Maestro (MSSP) o Soporta los modos SPI e I2C.

En el gráfico 3.10 se puede apreciar un ejemplo de entrada de control vs. Intensidad luminosa mediante una gráfica que muestra las formas de ondas en las cuales se muestra la mínima luminosidad que va a tener la lámpara led cuando trabaje al 30% de su capacidad y la máxima luminosidad cuando trabaje al 100% de su capacidad. De acuerdo a la técnica PWM (modulado por ancho de pulsos) el cual permite transmitir información mediante un canal de comunicaciones y controlar la cantidad de energía que se trasmite a la lámpara led.

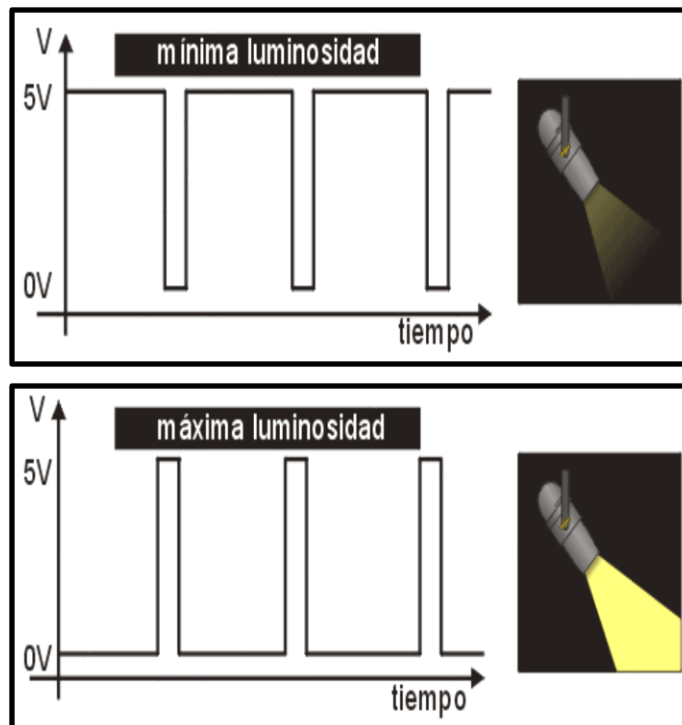


Gráfico 3.10: Formas de onda de tensión vs tiempo

Fuente: El Autor

3.6 Modo de operación del sistema de iluminación fotovoltaico

El proceso de operación del sistema de iluminación fotovoltaico consiste en la generación de energía eléctrica mediante el modulo fotovoltaico el cual genera 12 Vcc con una potencia de 85 W, el cual ira conectado en el regulador de carga. En el regulador de carga de 12/24 Vcc de 10 Amp, se interconectan el modulo solar antes mencionado, el acumulador de energía con capacidad de 40 Ah a 12 Vcc y el driver que alimenta y controla la lámpara led de 15 W a 12 Vcc, en el cual la función del regulador de carga es de proteger los dispositivos conectados en él. El tiempo de accionamiento y el flujo luminoso es controlado mediante el driver el cual recibe una señal atravez de un microcontrolador a distancia el cual permite transmitir la información mediante un control remoto. En el grafico 3.11 se muestra el diagrama de flujo que representa el sistema de iluminación fotovoltaico.

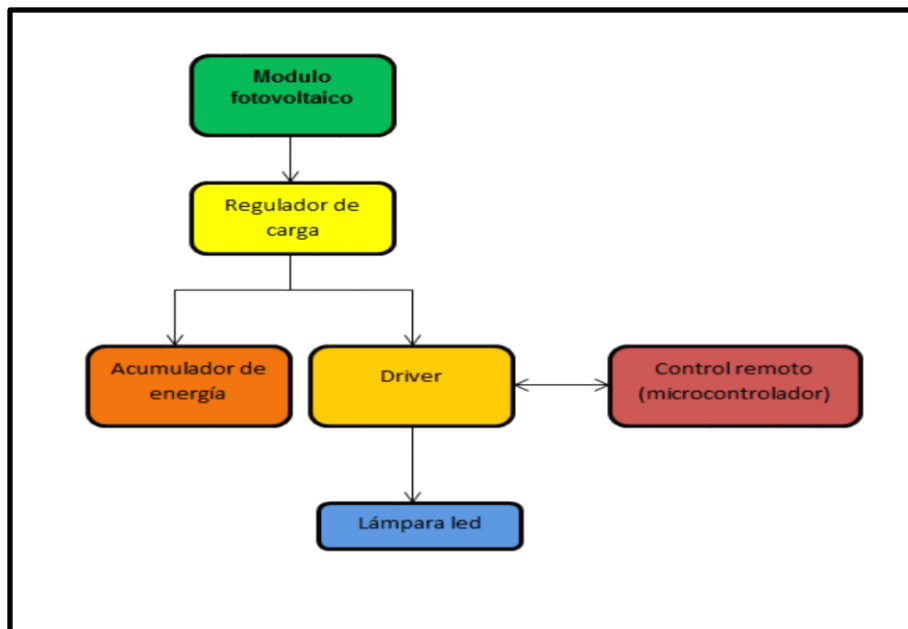


Gráfico 3.11: Diagrama de flujo del sistema de iluminación fotovoltaico

Fuente: El Autor

En la siguiente grafica 3.12 se observa un esquema que representa las conexiones del sistema de iluminación fotovoltaico.

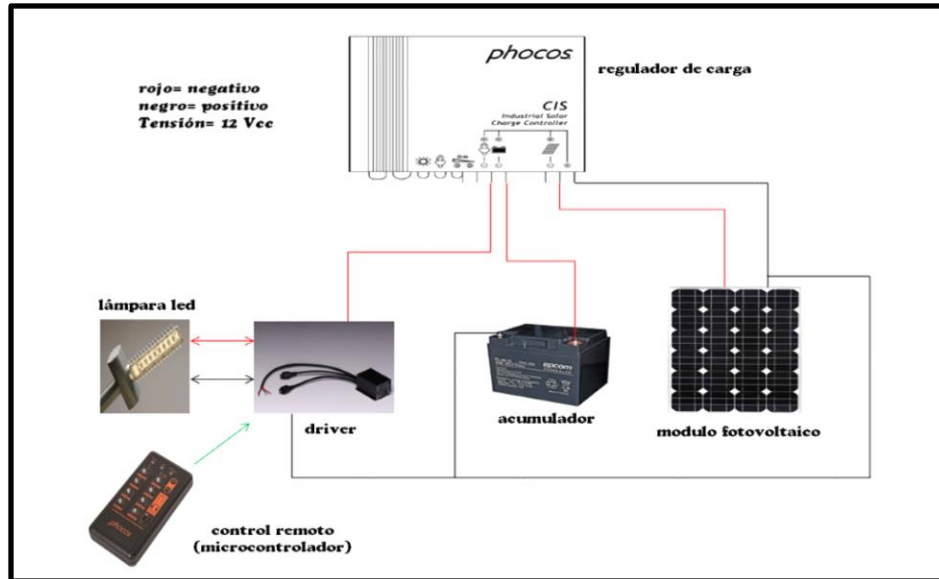


Gráfico 3.12: Esquema del circuito eléctrico del sistema de iluminación fotovoltaico

Fuente: El Autor

3.7 Análisis económico y financiero

3.7.1 Generalidades

Los costos para realizar un proyecto de sistemas de generación fotovoltaicos demandan un elevado costo de inversión inicial, debido a que los equipos y componentes que lo conforman tienen un alto valor económico debido a la tecnología que usan, y desde el punto de vista económico la rentabilidad varía dependiendo de la escala y del objetivo del proyecto.

3.7.2 Costos directos

Los costos directos comprenden directamente los equipos, componentes y demás elementos que conformen el sistema de generación fotovoltaica, en el cual se detalla a continuación en la tabla 3.12 los valores reales de los equipos y valores estimados en lo que comprenden a transporte vehicular, uso de herramientas y alquiler de equipos, ya que estos ítems fueron suministrados por una persona conocida sin valor alguno.

Tabla 3.12: Costos directos del proyecto

ÍTEM	DETALLE	CANTIDAD	TOTAL (\$)
1	Módulo solar	1	115,76
2	Regulador de carga	1	189,57
3	Acumulador de energía	1	155,93
4	Drive	1	40,95
5	Lámpara led	1	157,50
6	Cable AWG #14	100 mts	45,00
7	Construcción de soporte electrosoldado para modulo solar	gl.	50,00
8	Tablero eléctrico para montaje de elementos de protección, regulador, driver y batería.	gl.	85,00
9	Herrajes	gl.	55,00
10	Alquiler de escalera telescópica	gl.	120,00
11	Alquiler de Soldadora eléctrica	gl.	240,00
12	Herramientas menores	gl.	60,00
13	Ayudante eléctrico	gl.	40,00
14	Transporte de equipos y herramientas de trabajo	gl.	10,00
	COSTO TOTAL		1.364,71

Fuente: El Autor

3.7.3 Costos indirectos

Los costos indirectos son los que no están vinculados directamente con la ejecución de este proyecto. Para este caso el proyecto es un trabajo de titulación realizado por un estudiante egresado de la carrera de Ing. EléctricoMecánica por tal motivo estos costos no tienen valor alguno y se detallan a continuación:

- Costos administrativos
- Seguros
- Servicios básicos
- Diseño ingenieril
- Fiscalizador
- Construcciones provisionales

3.7.4 Costo total del proyecto

La implementación del proyecto se representa por los costos directos e indirectos, los cuales se detallan en la tabla 3.13, obteniendo como resultado el valor total de la ejecución del proyecto.

Tabla 3.13: Costo total del proyecto

COSTO TOTAL		
ÍTEM	DETALLE	VALOR (\$)
1	Costos directo	1.364,71
2	costos indirectos	0,00
	COSTO TOTAL	1.364,71

Fuente: El Autor

3.7.5 Costo actual de la energía convencional y Fotovoltaica

El valor actual del costo por KWh es de 9,33 centavos de dólar, este es el valor que se paga al ARCONEL, pero en realidad este costo viene subsidiado por el estado Ecuatoriano. Para los consumidores residenciales la tarifa eléctrica es de USD 0,01 y para los consumidores comerciales e industriales es de USD 0,02 por cada KWh que consuman al mes. Esto aplica para clientes que consuman más de 110 KWh en la Sierra y 130 KWh en la Costa, esto es el máximo consumo para las personas que cuentan con la tarifa dignidad. La tarifa dignidad es subsidiada y equivale a USD 0,04 KWh. (El Comercio, 2016)

Mediante la regulación 04/11 aprobada en Abril del 2011 y reformada en el 2012, el Arconel fijo la tarifa preferencial de USD 0,40 por KWh para la generación de energía fotovoltaica. (Verde, 2013)

3.7.6 Costo real de la Energía solar fotovoltaica generada y ahorro anual

Primero conoceremos el ahorro energético total de todo el sistema fotovoltaico para determinar el costo real generado.

Eficiencia total del sistema: 0,95

Energía total generada = 117 Wh/día

$$117 \frac{Wh}{dia} \times \frac{365 dias}{año} \times \frac{1 KWh}{1000 Wh} = 42,70 \frac{KWh}{año}$$

Como resultado obtenemos que en un año de generación de energía obtendremos 42.70 KWh, ya con este resultado se calculara el ahorro económico.

$$\text{Ahorro} = 42.70 \frac{KWh}{\text{año}} \times \frac{0.0933 \text{ dolares}}{KWh} = 3.98 \text{ dólares/año}$$

Un sistema fotovoltaico tiene un periodo de vida estimado de 25 años, dependiendo también del tiempo de vida de sus componentes que lo conforman, para este periodo de tiempo se tendrá un ahorro energético que se calculara a continuación.

$$42.70 \frac{KWh}{\text{año}} \times 25 \text{ años} = 1067,5 \text{ KWh}$$

El ahorro económico en el periodo de 25 años que es el estimado del tiempo de vida útil del sistema fotovoltaico será el siguiente:

$$3.7 \frac{\text{dolares}}{\text{año}} \times 25 \text{ años} = 99.5 \text{ dólares}$$

Para obtener el valor del costo de KWh generado por el sistema fotovoltaico de toma el valor del costo total del sistema dividido por la energía producida durante el periodo de su vida útil, que es de 25 años.

$$\text{Costo del KWh generado} = \frac{99,5 \text{ dolares}}{1067,5 \text{ KWh}} = 0.0932 \frac{\text{dolares}}{KWh}$$

Desde hace algunos años atrás mediante el ARCONEL, el estado ecuatoriano ha venido asumiendo el costo de KWh generado con un valor de USD 0,40. Entonces para este valor de KWh la inversión es:

$$42,70 \frac{KWh}{año} \times 0,40 \frac{dolares}{KWh} = 17,08 \text{ dólares/año}$$

$$\text{Tiempo de recuperación} = \frac{99,5 \text{ dolares}}{17,08 \text{ dolares/año}}$$

Tiempo de recuperación = 5,83 años

Para este caso el sistema solar fotovoltaico que se va a implementar da como resultado que si es rentable ya que el tiempo de recuperación de la inversión es menor que el tiempo de vida útil del sistema fotovoltaico.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Generalidades

Para obtener los resultados correspondientes a cerca del diseño de iluminación fotovoltaico que se desarrolló se realizaron unas pruebas experimentales de laboratorio, antes de realizar el montaje e instalación de los equipos y dispositivos ya en el sitio de destino que se planteó inicialmente, que corresponde a un sitio específico de la Facultad Técnica para el Desarrollo. En las pruebas experimentales se realizó la instalación y conexión de los equipos y elementos en el tejado de una casa colocando el modulo en la dirección e inclinación adecuada de una manera sencilla y de igual manera con los dispositivos y elementos en conjunto, los cuales transcurrieron dos horas luego de haber realizado la conexión y poner en marcha al sistema las cuales fueron en el transcurso del medio día teniendo una insolación alta en un día despejado, luego se realizaron las mediciones de las variables eléctricas que entrega el sistema como son tensión e intensidad eléctrica del módulo fotovoltaico, del acumulador de energía, e intensidad eléctrica que consume la lámpara led. También se realizó la programación del control remoto que controla el driver que alimenta la lámpara led. A continuación se detallaran los pasos y resultados que se obtuvieron en el desarrollo experimental.

4.1.1 Datos obtenidos del sistema de iluminación fotovoltaico

El modulo fotovoltaico el cual se encarga de generar energía eléctrica, en vacío entrega una tensión de 19,5 V aproximadamente y con carga entrega una tensión de 12,6 V y una intensidad eléctrica de 1,66 A, los cuales son consumidos por los dispositivos como son el acumulador, el controlador de carga y la lámpara led. En la gráfica 4.1 y 4.2 se observan los datos obtenidos los cuales fueron tomados mediante un multímetro de gancho que se usó para

medir la tensión en corriente continua y el multímetro digital para medir el paso de corriente de fluye por el modulo fotovoltaico.

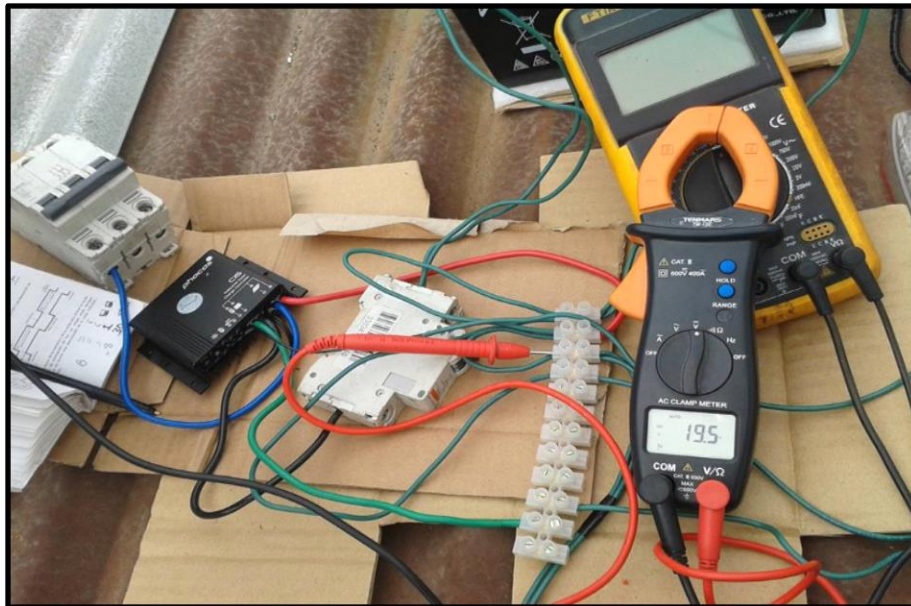


Gráfico 4.1: Tensión en vacío del módulo fotovoltaico

Fuente: El Autor

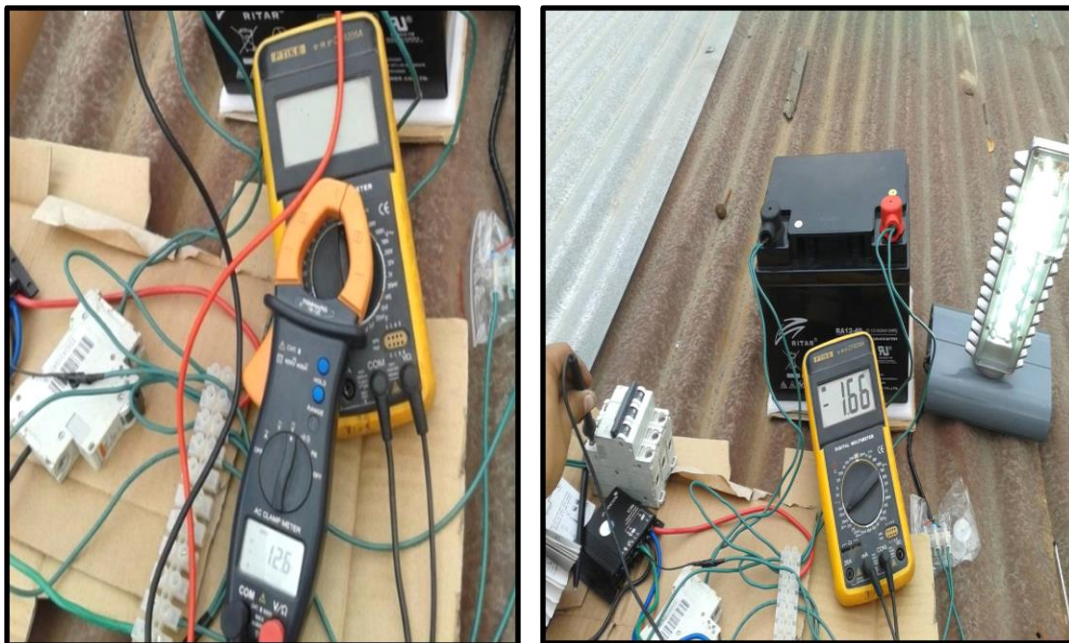


Gráfico 4.2: Tensión e intensidad eléctrica con carga del sistema de iluminación fotovoltaico

Fuente: El Autor

Los datos obtenidos en la parte experimental con relación a los datos obtenidos en la parte teórica se muestran en la tabla 4.1.

Tabla 4.1: Resultados teóricos y experimentales del sistema fotovoltaico

Variables eléctricas	Resultados teóricos	Resultados experimentales
Tensión en vacío	21,60 V	19,5 V
Tensión con carga	12 V	12,6 V
Intensidad eléctrica	3,15 A	1,66 A

Fuente: El Autor

4.1.2 Datos obtenidos del acumulador de energía y la lámpara led

Para tomar datos de las variables eléctricas que entrega el acumulador de energía en el momento en el que entra en funcionamiento la lámpara led, se esperó dos horas desde que se realizó la conexión y se puso en funcionamiento los equipos, para esto se puso el control remoto en la opción de test para que la lámpara led funcione manualmente y como resultado la tensión que entrega la batería es de 12,6 V y la intensidad eléctrica que consume la lámpara led es de 0.49 A.

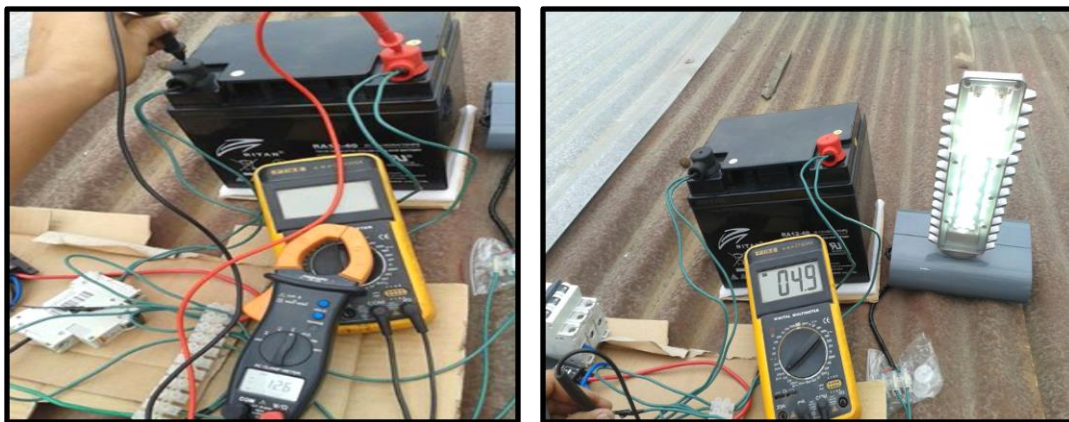


Gráfico 4.3: Tensión e intensidad eléctrica del acumulador de energía y la lámpara led

Fuente: El Autor

En la tabla 4.2 se muestra una comparación entre resultados teóricos y experimentales.

Tabla 4.2: Resultados teóricos y experimentales del acumulador y la lámpara led

Variables eléctricas	Resultados teóricos	Resultados experimentales
Tensión	12 V	12,6 V
Intensidad eléctrica	1,25 A	0,49 A

Fuente: El Autor

4.1.3 Programación del sistema de iluminación fotovoltaico

Las funciones del sistema consiste en controlar el tiempo de accionamiento y el flujo de intensidad luminoso que debería entregar la lámpara led, y para obtener estos resultados en el grafico siguiente se muestra el procedimiento de como configurar el control remoto que contiene el microcontrolador el cual es el encargado de enviar la señal infrarroja al driver que alimenta la lámpara led. El cual se lo simula en el programa CISCOM. El programa CISCOM es un simulador que permite observar en forma de onda cuadrática la representación de los datos de programación modulados en el control remoto el cual contiene una tarjeta microcontrolada que envía una señal infrarroja al driver que alimenta la lámpara led. A continuación se detalla el procedimiento de programación de acuerdo al requerimiento que se estableció anteriormente para que el sistema de iluminación fotovoltaico se accione automáticamente y para que trabaje desde las 18:00 hasta las 00:00 al 100% de su capacidad y desde las 00:00 hasta las 06:00 al 30% de su capacidad controlando así el flujo luminoso y así poder obtener un ahorro de energía del sistema y un mayor rendimiento de la misma.

4.1.3.1 Selección del controlador

En la gráfica 4.4 se observan las opciones de selección del controlador, que muestra seleccionar una carga o dos cargas, en este caso se seleccionara una carga y con control de atenuación de luz ya que el sistema contiene una sola lámpara led en el cual se desea controlar el flujo luminoso.

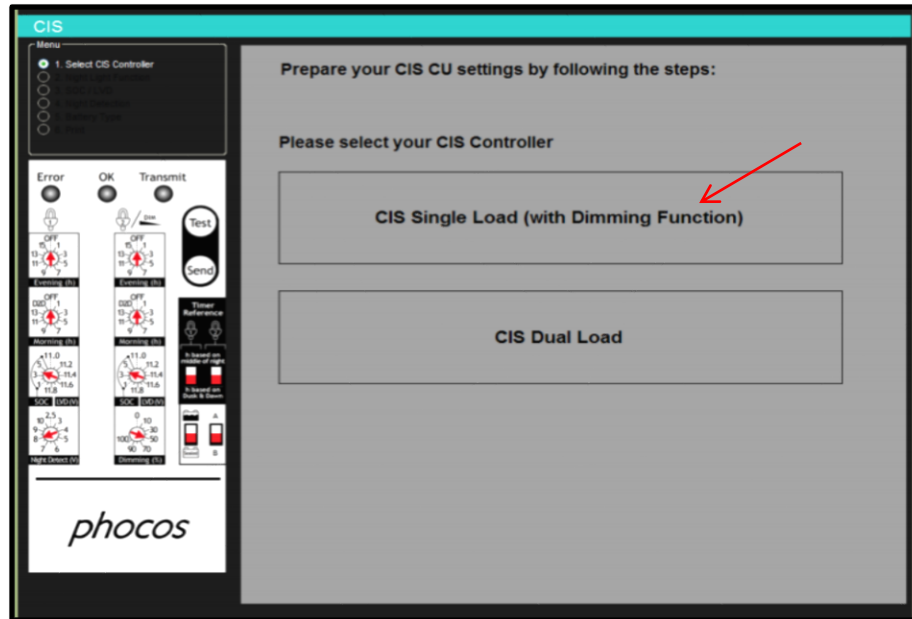


Gráfico 4.4: Ventana de selección de carga
Fuente: El Autor

4.1.3.2 Selección de parámetros de funcionamiento

En la selección de parámetros de funcionamiento se encuentra las opciones de luz encendida y de atenuación de luz, en las cuales se seleccionan el periodo de trabajo de la lámpara led que inicia desde las 18:00 hasta las 06:00, y desde la media noche que serían las 00:00 horas se configura en un 30% el flujo luminoso hasta las 06:00. A continuación en la gráfica 4.5 se aprecia la curva esquemática que representa el periodo de trabajo y la forma de iluminación de la lámpara led.

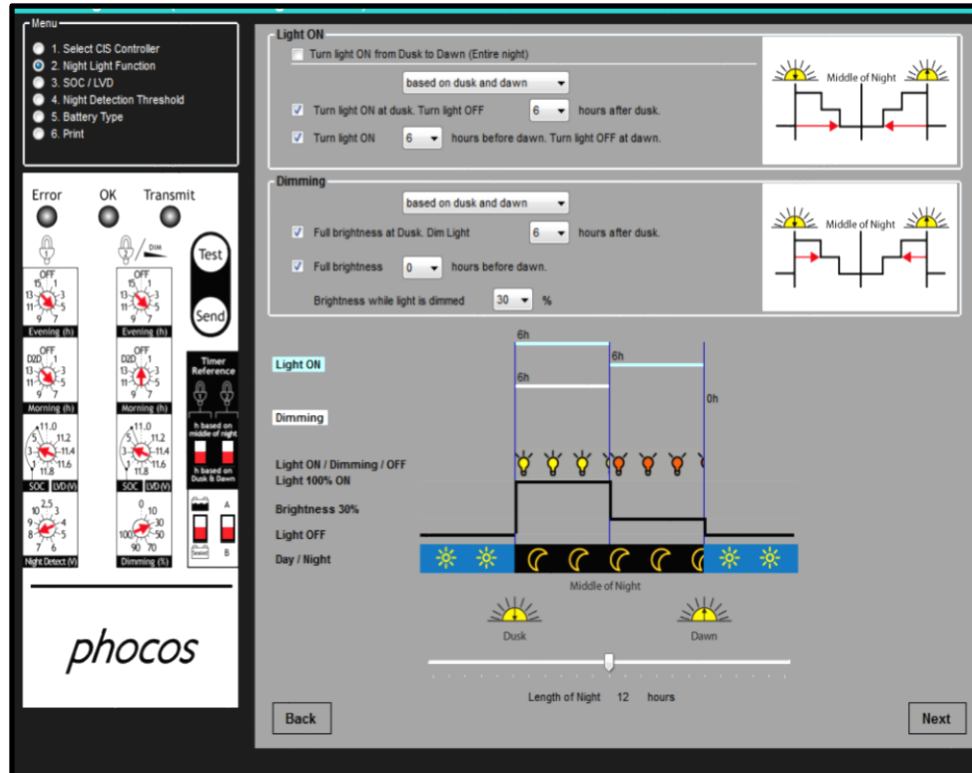


Gráfico 4.5: Ventana de selección de parámetros y curva del periodo de trabajo

Fuente: El Autor

Mediante la curva se puede apreciar el tiempo y funcionamiento de la lámpara led, el cual es similar a los requerimientos planteados para el funcionamiento del sistema de iluminación fotovoltaico que se ha diseñado.

Mediante estos resultados experimentales se puede hacer una comparación con los cálculos y resultados obtenidos en el dimensionamiento de cada uno de los equipos que conforman el sistema de iluminación fotovoltaico, en los cual se seleccionó la irradiación del peor mes del año que es **3,4 kWh/m²**, el cual permite dimensionar el sistema en las peores condiciones de funcionamiento, obteniendo un consumo de energía total de **117 Wh/día** y una carga total de **10,72 Ah/día**, mediante estos datos iniciales se obtiene la corriente pico que va a tener el sistema de iluminación fotovoltaico, generada por el modulo fotovoltaico. El acumulador de energía se dimensiono mediante la carga total por los días de autonomía que dio como resultado **40,2 Ah** el cual corresponde

a la capacidad del acumulador, luego mediante la ley de ohm se calcula la corriente que va a circular desde la batería a la carga y desde el panel a la batería, el cual obtenemos unos resultados de tensión y e intensidad eléctrica similares en cuanto a los cálculos teóricos y los datos experimentales mostrados en la **tabla 20 y 21**, en cuanto al proceso de programación y funcionamiento del sistema de iluminación fotovoltaico se lo realizo mediante una simulación en programa de PC obteniendo los resultados deseados el cual son similares al requerimiento inicial del proyecto.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- La energía generada por medio del módulo solar fotovoltaico no tiene costo alguno en comparación con la energía eléctrica que entrega la red pública convencional
- Los sistemas de iluminación mediante lámparas tipo led, alimentadas mediante módulos fotovoltaicos en el cual el sistema es microcontrolado por un drive el cual recibe una señal infrarroja con los datos programados para realizar las funciones encomendadas, mejoran la eficiencia en el sistema con respecto a los sistemas de iluminación públicos convencionales al menos en un 30 %.
- El sistema de iluminación fotovoltaico trabaja correctamente de acuerdo a las funciones programadas, en el cual el objetivo principal es controlar el tiempo de accionamiento y el grado de atenuación de la luz o la cantidad de flujo luminoso.
- En los resultados obtenidos se aprecia que el modulo fotovoltaico apenas recibe radiación solar comienza a generar energía eléctrica para almacenarla en el acumulador, obteniendo una tensión plena a 12 Voltios con carga generando una corriente de 1,66 Amp. El cual corresponde dentro del rango de operación y una tensión en vacío de 20 Voltios.

- El funcionamiento de la lámpara de acuerdo a la simulación que se realizó en el programa CISCOS, mantiene una operación correspondiente a la programada de acuerdo a los objetivos del proyecto, entregando 1350 lúmenes, flujo luminoso necesario para el área establecido que es de 20 m^2 a una altura de 5 mts rango óptimo para iluminación en parques, pasillos, etc., programada para que trabaje por el periodo de 12 horas, 6 horas al 100% de su capacidad y 6 horas al 30% de su capacidad mejorando la eficiencia de la lámpara.
- El ahorro económico y energético mediante el desarrollo de este proyecto es significativo ya que aunque la inversión inicial tiene un costo elevado con respecto a otros sistemas de iluminación exteriores similares, la inversión inicial es recuperable en un tiempo de 6 años aproximadamente, con respecto al tiempo de vida estimado del sistema que es de 25 años según el fabricante, teniendo una diferencia de 19 años en el cual se empieza a obtener un ahorro económico ya que la energía producida no tendría costo alguno.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda no conectar aparatos que no hayan sido evaluados en el diseño.
- Para la ubicación del módulo solar se debe tener en cuenta objetos, edificaciones, árboles y demás circunstancias que puedan opacar la irradiación solar que va a recibir el modulo solar para que esto no pueda afectar en el rendimiento del sistema fotovoltaico.

- Se debe realizar mantenimiento en el sistema por lo menos una vez al año, limpiar con agua y jabón suave el modulo solar, limpiar la lámpara en caso de suciedad, revisar los contactos eléctricos del acumulador y realizar limpieza para evitar sulfataciones y su deterioro.
 - El acumulador de energía se debe colocar en una base de plafón plástico o de un material que no sea conductor eléctrico, debe estar aislado de la parte metálica del tablero.
 - El tablero eléctrico en donde van a ir ubicados los dispositivos, elementos y acumulador debe ser hermético y permanecer bien cerrado para evitar daños ocasionados por humedad o roedores.
- 4 El sistema solar fotovoltaico que se ha diseñado para la iluminación exterior de una lámpara led microcontrolada, es un sistema en los que podrían ser instalados varios sistemas similares en diferentes espacios dentro de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, para así poder obtener un ahorro de energía dentro de la institución y fomentar el uso de las energías renovables a los estudiantes y demás personas que puedan observar este tipo de proyectos y promover la investigación de proyectos similares con mejores tecnologías en los cuales se pueda mejorar la eficiencia del sistema y obtener mayor ahorro energético y económico.

BIBLIOGRAFÍA

- Anticona, M. (2005). Universidad Nacional De Ingenieria. Facultad de Ingenieria Mecánica. "Aplicación de la Energía Solar para Electrificación Rural en Zonas Marginales del País". Obtenido de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/893/1/munoz_ad.pdf
- Arenas, Danny. Zapata, Hodman. (2011). Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnología Eléctrica Pereira. "Libro interactivo sobre Energía Solar y sus Aplicaciones". Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/2369/1/62131244A681.pdf>
- Arteaga, Juan. Goldoni, Luis. (Jueves de Noviembre de 2007). Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones. "Convertidor DC-DC Flyback". Obtenido de <http://flybackucr.tripod.com/Prereporteg04ESPECIAL.pdf>
- Bejarano, Nestor. (2011). Escuela Politécnica Superior de Chimborazo. Facultad de Mecánica. Escuela de Ingeniería Mecánica. "Diseño de un Sistema de Generación Eléctrica Solar para la Iluminación Externa del Modular de la Escuela de Ingeniería en Ecoturismo". Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1884/1/15T00496.pdf>
- Sarango, Jose. Orellana, Andres. (Febrero de 2015). Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. "Estudio de Factibilidad para el uso de Energía Solar y Eólica en Sistemas de Alumbrado Público para la vía de Integración barrial, Sector el Plateado Servido por Empresa Eléctrica Regional Sur". Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7872/1/UPS-CT004708.pdf>

- Chávez, Idalberto. Inv. Grupo de Energía Solar. CITMA. Ciudad de la Habana. "Sistemas de electricidad solar". Obtenido de <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia12/HTML/articulo06.htm>
- CONELEC. (2008). Obtenido de file:///C:/Users/vladimir/Downloads/Atlas_Solar_del_Ecuador.pdf
- Despradel, Novas Peña. (Abril de 2008). Atlantic International University. "Microcontroladores, Arquitectura, Programacion y Aplicación" Obtenido de <https://www.aiu.edu/applications/DocumentLibraryManager/upload/Despradel%20Novas%20Pe%C3%B1a.pdf>
- E.T.S. Arquitectura. "Luminotecnia". Obtenido de Magnitudes Fotometricas Basicas: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12732/L%20U%20M%20I%20N%20O%20T%20E%20C%20N%20I%20A.pdf?sequence=1>
- El Comercio. (Martes 02 de Agosto de 2016). "Alza de tarifas electricas busca bajar el subsidio". (A. Araujo, Ed.). Obtenido de <http://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/alza-de-tarifas-electricas-busca.html>
- Eliseo, Sebastian (16 Febrero de 2009). Universidad de Piura. Facultad de Ingenieria. "Estudio de Electrificacion con Energía Solar Plaza Publica Distrito de LLauta-Lucanas-Ayacucho". Obtenido de http://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1477/MAS_GAA_005.pdf?sequence=1
- Gonzales, Alberto. (Julio de 2013). Escuela Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicaciones. Universidad de Cantabria. "Controller LEDs lights with adjustable brightness". Obtenido de

<http://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/3815/358105.pdf?sequence=1>

- Guanín, Christian. (2015). Universidad Politecnica Salesiana Sede Cuenca. Carrera de Ingenieria Eléctrica. "Diseño y Construccion de un Sistema de Iluminacion Autosustentable Fotovoltaico para una Parada de buses y su valla informativa del Sistema Integrado de Transporte de Cuenca". Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/11352/1/UPS-CT005555.pdf>
- Juarez, Guerra. (Mayo de 2013). "Energia Solar Fotovoltaica. Sistemas conectados a la red electrica". Obtenido de http://www.editores-srl.com.ar/revistas/ie/276/finder_energia_solar_fotovoltaica
- Kouyomgian, Ivan. (Noviembre de 2010). Universidad Simon Bolivar. "Calculo de Instalacion Eléctrica utilizando Energía Solar para tres casos de Etudio". Obtenido de <http://159.90.80.55/tesis/000149036.pdf>
- Moral, A. (20 de Mayo de 2014). Obtenido de <https://aprendofotografia.wordpress.com/2014/05/20/12a-equilibrio-de-blancos/>
- Murillo, Sidney (2015).Universidad Catolica de Snatiago de Guayaquil. Facultad Tecnica para el Desarrollo. Carrera de Ingenieria Electronica en Control y Automatismo. "Analisis de la Energía Solar Termica y Fotovoltaica para la Comunidad de Limoncito". Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/3670/1/T-UCSG-PRE-TEC-IECA-34.pdf>
- Rojas, B. (2009). Obtenido de <https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiD66DLhsHNAhWDKB4KHQ6WAp0QFggaMAA&url=http%3A%2F%2Fdspace.utpl.edu.ec%2Fbitstream%2F12>

3456789%2F943%2F3%2F720X859.pdf&usg=AFQjCNGcLLNQQ9sR-jTG1UXKJ1ISvf1OHQ&sig2=

- Sanchez, Juan. Angeles, Jorge. Rosales, Santiago. (Diciembre de 2009). Instituto Politecnico Nacional. Escuela Superior de Ingenieria Mecánica y Eléctrica. "Propuesta de alumbrado publico por medio de celdas fotovoltaicas con luminarios tipo leds para la Manga, Municipio de la Yesca en el Estadio de Nayarit". Obtenido de <http://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/8955/1/PROPALUM.pdf>
- Torres, Miguel. (2009). Escuela de Ingenieria, Pontificia Universidad Catolica de Chile. "Tutorial Microcontroladores PIC". Obtenido de http://mtorrest.sitios.ing.uc.cl/downloads/pic/tutorial_pic.pdf
- Verde, Ingenieria. (14 de Enero de 2013). "17 nuevos proyectos de energía solar fotovoltaica se instalaran en Ecuador hasta el 2015". Obtenido de <http://www.ingenieriaverde.org/17-nuevos-proyectos-de-energia-solar-fotovoltaica-se-instalaran-en-ecuador-hasta-el-2015/>
- Yerena, Mariel. (Noviembre de 2005). Universidad Simon Bolivar. "Diseño e Implementacion de un sistema de iluminacion autonomo para espacios exteriores con celdas solares". Obtenido de <http://159.90.80.55/tesis/000130422.pdf>
- INEN. Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2012). "Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 069, Alumbrado Público". http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/11/prte_069.pdf

ANEXOS

Anexo 1

En este Anexo se pueden observar los datos técnicos y características del módulo fotovoltaico.

90W Maximum Power **Mono-Crystalline Solar Module**

Benefits

- High and stable conversion efficiency based on over 5 years professional experience
- High reliability with guaranteed +/-5% output power tolerance
- Proven materials,tempered front glass,and a sturdy anodized aluminum frame allow modules to operate reliably in multiple mountily configuration
- Combination of high efficiency and attractive appearanc

Quality and Safety

- IEC61215, Safety tested IEC61730, CE
- ISO9001:2000 (Quality Management System) certified factory
- Product Quality Warranty & Product Liability Insurance guarantee end users' benefit



SunLink PV Co.,Ltd

Zhangjiagang Economic Development Zone,
Zhangjiagang City,Jiangsu Province,
215600, China.

Tel:+86-512-58992216

Tel:+86-512-58262253

Fax:+86-512-58262258

www.sunlink-pv.cn

Temperature Coefficients

NOCT	45 +/-2°C
Voltage temperature coefficient(Voc)	-0.37%/°C
Current temperature coefficient(Isc)	+0.035%/°C
Power temperature coefficient(Pmpp)	-0.5% /°C
Minimum power tolerance	+/-5%

NOCT:Nominal Operating cell Temperature:-40°C to + 85°C

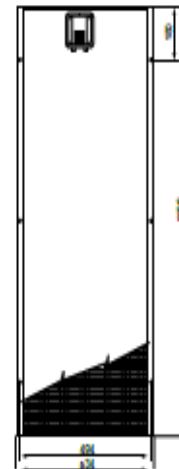
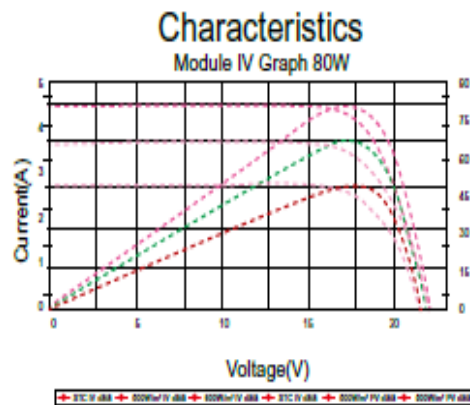
Mechanical Data

Solar Cell	36 Mono-crystalline 125×125mm
Frame	Anodized aluminium
Weight	8Kg
Dimension	1196×534×35mm

Electrical Data

Module Type	SL 080-12M	SL 080-12M	SL 080-12M	SL 080-12M
Nominal peak power(Wp)	75W	80W	85W	90W
Nominal voltage(Vmp)	17.2V	17.2V	17.2V	17.2V
Nominal current(Imp)	4.36A	4.65A	4.94A	5.23A
Open circuit voltage(Voc)	21.60V	21.60V	21.60V	21.6V
Short circuit current(Isc)	4.80A	5.14A	5.47A	5.63A
Module efficiency	11.7%	12.5%	13.3%	13.3%
Operating Temperatre	-40 to +85°C	-40 to +85°C	-40 to +85°C	-40 to +85°C
Maximum System Voltage	1000V DC	1000V DC	1000V DC	1000V DC

STC:1000W/m², 25°C, AM=1.5



Anexo 2

Descripción técnica del modelo del acumulador de energía y sus características técnicas



RA12-40D (12V40Ah)

RA12-40D is AGM Deep cycle battery with 10 years floating design life, specially designed for frequent cyclic discharge usage. By using strong grid and specific paste plate, it makes battery have 30% more cyclic life time than standby series. It is applicable for solar energy system, golf cart, electric wheelchair, etc..



Specification

Cells Per Unit	6
Voltage Per Unit	12
Capacity	40Ah@10hr-rate to 1.80V per cell @25°C
Weight	Approx. 13.0 Kg
Max. Discharge Current	400 A (5 sec)
Internal Resistance	Approx. 8 mΩ
Operating Temperature Range	Discharge: -20°C~60°C Charge: 0°C~50°C Storage: -20°C~60°C
Normal Operating Temperature Range	25°C±5°C
Float charging Voltage	13.6 to 13.8 VDC/unit Average at 25°C
Recommended Maximum Charging Current Limit	12A
Equalization and Cycle Service	14.6 to 14.8 VDC/unit Average at 25°C
Self Discharge	RITAR Valve Regulated Lead Acid (VRLA) batteries can be stored for more than 6 months at 25°C. Self-discharge ratio less than 3% per month at 25°C. Please charge batteries before using.
Terminal	Terminal F4/F11
Container Material	A.B.S. (UL94-HB) , Flammability resistance of UL94-V1 can be available upon request.



MH28539



G4M2006-0910-E-16



ISO9001:2000 Certificate

Anexo 3

En las siguientes gráficas se pueden observar los datos técnicos y características del regulador de carga.



- Robust Aluminum Housing
- Epoxy Encapsulated PCB to Prevent Corrosion (IP68)
- Compact Size
- Infrared Remote Control Programming Accessory (CU)
- Intelligent Timer Functions
- Widely Programmable
- External Temperature Sensor (Optional)
- 4 Stage Battery Charging (Main, Float, Boost, Equalization)
- Dual load or Dimmable Load Output
- Automatic System Voltage Recognition (12/24 V)

PV-Systems exposed to extreme weather/environmental conditions (street lights, navigation buoys, etc.) have increased risk for damage in the power electronics. In order to assure reliable battery charge control under such conditions, Phocos developed an encapsulated charge controller (IP68) to prevent corrosion: CIS.

CIS is an industrial-grade charge controller that is suitable for all practical PV applications. High-quality, 4-stage PWM-charging is combined with amazing features such as: low-voltage disconnect, flexible load timer functions, and a multi-LED system status display. CIS is available in two versions:

- Dual load to independently control two loads
- Output Dimming to save energy in lighting applications.

The CIS has no moving parts, switches or buttons. Settings such as battery type, deep discharge thresholds, timers, etc. are made quickly and easily via infrared remote control accessory.

All devices are connected to the controller by supplied lead wires rather than wire terminals. This feature eliminates the risk of damage from external influences (corrosion, dust, water, bugs, chemicals, physical shock) where components make electrical contact to the controller.

The extremely compact aluminum housing even allows for mounting CIS inside street light poles. CIS was developed in accordance with well-established Phocos standards incorporating the latest technology, highest-quality and best possible cost/performance ratio.



Type	RP012		RP013
	CIS 05 CIS-2L 05	CIS 10 CIS-2L 10	CIS 20 CIS-2L 20
System voltage	12/24 V auto recognition		
Max. charge/load current	5 A	10 A	20 A
Float charge	13.8/27.6 V (25 °C)		
Main charge	14.4/28.8 V (25 °C), 30 min. (daily)		
Boost charge	14.4/28.8 V (25 °C), 2 h activation: battery voltage < 12.3/24.6 V		
Equalization	14.8/29.6 V (25 °C), 2 Std. activation: battery voltage < 12.1/24.2 V (at least every 30 days)		
Deep discharge protection:			
Cut-off voltage	11 – 12 V / 22 – 24 V		
Reconnect level	12.8/25.6 V		
Overvoltage protection	15.5/31.0 V		
Undervoltage protection	10.5/21 V		
Max. panel voltage (Overvoltage protection by varistor)	55 V		
Temperature compensation (Charge voltage)	–25 mV/K at 12 V –50 mV/K at 24 V		
Max. self consumption	5 – 8 mA at 12 V 6 – 10 mA at 24 V		
Grounding	positive grounding possible		
Ambient temperature	–40 to +60 °C		
Max. height	4,000 m above sea level		
Battery type	lead acid (GEL, AGM, flooded)		
Adjustment range:			
Evening/morning hours	0 – 15 h / 0 – 14 h		
Night/day detection	2.5 – 10 V		
Wire length	10 cm		
Dimensions (B x H x T)	82 x 58 x 20 mm		
Weight	150 g		
Wire cross section	1.5 mm ²	1.5 mm ²	2.5 mm ²
Type of protection	IP68 (1.5 m, 72 h)		
Technical data dimming output	CIS 05	CIS 10	CIS 20
Dimming value	0 – 100% output power		
Dimming output voltage	0 – 5 V (max. 1 mA)		

Anexo 4

En las siguientes graficas se pueden observar los datos técnicos y características de la lámpara tipo led.

SL15 - SL11

Luminaria pública DC, con LEDs de alta potencia

La luminaria para exterior provee elevado flujo luminoso, larga vida, modular y confiable para iluminación de calles y otras aplicaciones públicas como privadas.

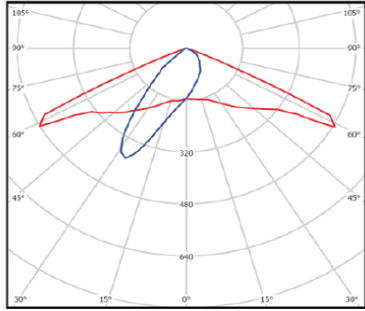
Usando LED de elevada calidad, que proporciona una excelente performance en eficiencia luminosa, tiempo de vida y temperatura.

Las lentes de grado óptico integradas y la cubierta transparente permiten un patrón de iluminación optimizado sobre la calzada, que proporcionan una buena distribución de luz.


La lámpara construida en aluminio fundido esta protegida por una cubierta powder coating de alta calidad.

El disipador está diseñado para optimizar la eliminación de calor. Las aletas con ángulos cortos tienen una baja tendencia a la acumulación de polvo y suciedad, por tanto el rendimiento térmico acompañará toda la vida útil de la lámpara.


Combinando las lámparas SL11 y SL15, es fácil de armar una gran variedad de luminarias.



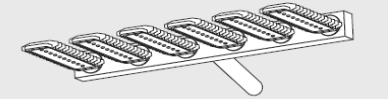
Distribución de la luz



Configuraciones básicas







Puede diseñar su propia configuración combinando las lámparas de 11W y 15W, para llegar a la potencia requerida.



SL15 - SL11

Luminaria pública DC, con LEDs de alta potencia



SL-xx		
Datos técnicos lámpara básica:		
	SL11	SL15
Corriente máxima :	600 mA	600 mA
Potencia (driver incluido) :	11 W	15 W
Flujo luminoso @ 600 mA (Tipo AO, SO):	990 lm	1350 lm
Eficiencia luminosa (solo lámpara):	90 lm/W (98 lm/W) +/-5%	
Flujo luminoso @ 600 mA (Tipo R):	1078 lm	1470 lm
Eficiencia luminosa (solo lámpara):	98 lm/W (107 lm/W) +/-5%	
Índice CRI:	70%	
Temperatura de trabajo:	-30°C ... +50°C	
Temperatura de color:	5600K	
Ángulo de iluminación:	 Lente tipo AO: 85° x 130° Asimétrico (estándar) Lente tipo SO: 60° x 130° Asimétrico (a pedido) Lente tipo R: 120° (a pedido)	
Vida útil:	50.000h	
Fuente de alimentación:	Driver LED: 12 V DC - 110-220 V AC (a pedido)	
Protección:	IP65	
	52,5mm X 254,5mm X 74,5mm	
	380 g	

Anexo 5

A continuación se aprecian los datos técnicos y características del driver o fuente de alimentación de la lámpara led.



SL-D-B

Driver LED 12V DC



SL-D-B

Datos técnicos LED driver:

	Funciona con:	1xSL11, 2xSL11, 1xSL15, 2xSL15, 1xSL15 + 1xSL11
Entrada :		Cable (+ / - / dimming)
	Voltaje de operación:	12V (11 ... 15V)
	Potencia de entrada:	11 ... 30W (depende de la lámpara conectada)
	Corriente de entrada:	< 3A
	Eficiencia del driver LED:	91%
Entrada Dimming:		1 ... 10V à 10 ... 100%; <0.6V a salida apagada (conectar al positivo de la fuente si no se utiliza)
Salida:		2 x conector a prueba de agua para conexión de lámparas
	Voltaje de salida:	15.5 ... 48V
	Corriente de LED:	600mA (60 ... 600mA dimmable)
Protección electrónica:	Protección de bajo voltaje:	Ca. 10.8V
	Protección de salida abierta:	Ca. 56V
	Protección de polaridad inversa:	Si
	Protección de sobre temperatura:	OTP en el driver de LED, OTP para 2 lámparas
Protección:		IP65
		34mm X 50mm X 32mm
		160g

Anexo 6

Las siguientes imágenes representan la construcción de soportes y bases del módulo fotovoltaico y lámpara led.



Imagen 6.1: Construcción de base para modulo fotovoltaico

Fuente: El Autor



Imagen 6.2: Soldado de base para modulo fotovoltaico

Fuente: El Autor

Anexo 7

En las siguientes imágenes se observa el montaje e instalaciones de los equipos y dispositivos que conforman el sistema de iluminación fotovoltaico.



Imagen 7.1: Perforación donde va fijada base del módulo fotovoltaico

Fuente: El Autor



Imagen 7.2: Montaje del módulo fotovoltaico

Fuente: El Autor



Imagen 7.3: Ensamblaje de la lámpara LED.

Fuente: El Autor



Imagen 7.4: Conexión de la Lámpara LED

Fuente: El Autor



Imagen 7.5: Conexión del circuito de protección de los equipos
Fuente: El Autor



Imagen 7.6: Conexión del regulador de carga y del acumulador
Fuente: El Autor

Anexo 8

En las siguientes imágenes se puede apreciar las pruebas de funcionamiento del sistema de iluminación fotovoltaico una vez culminado el montaje y las conexiones de los equipos.



Imagen 8.1: Funcionamiento de lámpara LED

Fuente: El Autor



Imagen 8.2: Grado de iluminación de lámpara LED

Fuente: El Autor



Imagen 8.3: Área de iluminación de lámpara LED

Fuente: El Autor



Imagen 8.4: Prueba de funcionamiento del sistema de iluminación fotovoltaico

Fuente: El Autor

Anexo 9

Registro de entrega de parte implementaria del proyecto de titulación, al Director de Carrera de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo.

Guayaquil, 21 de Septiembre del 2016

Señor Ingeniero
Armando Heras Sánchez
DIRECTOR DE CARRERAS DE INGENIERÍAS
En su despacho.-

Por medio de la presente, yo **Douglas Vladimir Montalvo Ureta** con cédula de identidad **0930407796**, estudiante titulado de la carrera de Ingeniería en Eléctrico Mecánico de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, me dirijo a usted mediante este oficio para hacerle la entrega de las llaves del tablero eléctrico que contienen los elementos y dispositivos que controlan el sistema de iluminación fotovoltaico y el control remoto el cual sirve para programar el modo de funcionamiento de este sistema que fue desarrollado e implementado en la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, como desarrollo de mi proyecto de titulación que corresponde al **Análisis y diseño del alumbrado en espacios exteriores utilizando lámparas LED microcontroladas, alimentadas por un sistema de energía solar fotovoltaico.**

Adjunto a este oficio se anexan imágenes de la implementación del sistema de iluminación fotovoltaico.

Agradezco la atención prestada.

Atentamente:


Douglas Vladimir Montalvo Ureta
C.C.: 0930407796
Teléf: 0992920844
Email: vlady-@outlook.com

VISTO BUENO

Ing. Armando Heras Sánchez
DIRECTOR DE CARRERAS DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Douglas Vladimir, Montalvo Ureta** con C.C: # 0930407796 autor del trabajo de titulación: **“Análisis y diseño del alumbrado en espacios exteriores utilizando lámparas LED microcontroladas, alimentadas por un sistema de energía solar fotovoltaico”**, previo a la obtención del título de **INGENIERO EN ELÉCTRICO MECÁNICA**, en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 16 de Septiembre del 2016

f. _____

Nombre: Montalvo Ureta, Douglas Vladimir

C.C: 0930407796



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Análisis y diseño del alumbrado en espacios exteriores utilizando lámparas LED microcontroladas, alimentadas por un sistema de energía solar fotovoltaico.		
AUTOR	Montalvo Ureta, Douglas Vladimir		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Mendoza Merchán, Eduardo Vicente		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en Eléctrico-Mecánica		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero en Eléctrico-Mecánica		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	16 de Septiembre del 2016	No. DE PÁGINAS:	115
ÁREAS TEMÁTICAS:	Energía solar; Iluminación exterior; Leds microcontrolados		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	INSOLACIÓN SOLAR; FOTOVOLTAICO; LEDS; MICROCONTROLADORES; FLUJO LUMINOSO; ATLAS SOLAR ECUADOR		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>El presente trabajo de titulación está orientado al análisis de la iluminación en espacios públicos mediante generación fotovoltaica autónoma con la finalidad de fomentar el ahorro y eficiencia energética en la parte de iluminación exterior, también para poder transmitir conocimiento acerca del uso de estos sistemas eléctricos mediante energía solar. Se decidió que el lugar propuesto para este proyecto sería en uno de los espacios de la Facultad Técnica para el Desarrollo en los cuales los estudiantes y autoridades de las distintas carreras podrían observar que estos modernos sistemas pueden servir y ser de gran importancia en sistemas aislados de la red eléctrica, como también pueden ser implementados en áreas verdes, centros educativos, y demás lugares donde se requieran. Los métodos de investigación que se utilizaron fueron el análisis teórico mediante investigación bibliográfica de los fundamentos acerca de la energía solar fotovoltaica, iluminación pública y microcontroles para este tipo de sistemas de iluminación, luego se procedió con el método experimental el cual consiste en realizar pruebas de funcionamiento y tomar datos de mediciones de variables eléctricas para luego hacer una comparación entre los resultados calculados en la parte teórica y los datos tomados en la parte experimental. Una de las conclusiones más relevantes del desarrollo del proyecto es que mediante el diseño de este sistema se puede obtener una alta eficiencia en el sistema de iluminación y un ahorro de energía ya que la lámpara led es controlada para que trabaje de acuerdo con la programación dada, el tiempo de accionamiento y la intensidad de flujo luminoso y por medio de estas funciones el sistema permite que la batería no se agote durante el periodo de su trabajo pudiendo almacenar cada día más energía sin descargarse totalmente.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR:	Teléfono: 0992920844	E-mail: vlady-@outlook.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Ing. Philco Asqui, Orlando		
	Teléfono: 0980960875		
	E-mail: Orlando.philco@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			