



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

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

TEMA:

Análisis técnico y económico de la migración a un sistema de iluminación
LED alimentado por paneles fotovoltaicos en los salones de clase de la
Facultad Técnica

AUTOR:

Mora Delgado, Mateo Nicolás

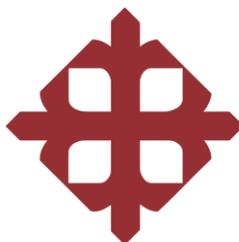
Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO EN ELÉCTRICO-MECÁNICA

TUTOR:

Ing. Juan Carlos López Cañarte

Guayaquil, Ecuador

08 de marzo del 2018



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 **Mora Delgado, Mateo Nicolás** como requerimiento para la obtención del Título de **Ingeniero en Eléctrico-Mecánica**.

TUTOR

ING. LÓPEZ CAÑARTE, JUAN CARLOS

DIRECTOR DELA CARRERA

ING. HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO, M.Sc.

Guayaquil, a los 8 días del mes de marzo del año 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA.**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Mora Delgado, Mateo Nicolás

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, “**Análisis técnico y económico de la migración a un sistema de iluminación LED alimentado por paneles fotovoltaicos en los salones de clase de la Facultad Técnica**” 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 8 días del mes de marzo del año 2018

EL AUTOR

MORA DELGADO, MATEO NICOLÁS



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA.

AUTORIZACIÓN

Yo, **Mora Delgado, Mateo Nicolás**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, “Análisis **técnico y económico de la migración a un sistema de iluminación LED alimentado por paneles fotovoltaicos en los salones de clase de la Facultad Técnica**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 8 días del mes de marzo del año 2018

EL AUTOR

MORA DELGADO, MATEO NICOLÁS

REPORTE URDKUND

Título: Análisis técnico y económico de la migración a un sistema de iluminación LED alimentado por paneles fotovoltaicos en los salones de clase de la Facultad Técnica.

Autor: Mateo Nicolás Mora Delgado

The screenshot displays the URKUND software interface. On the left, a document summary is shown: 'Documento: TRABAJO DE TITULACIÓN MATEO MORA.docx (D35791258)', 'Presentado: 2018-02-20 23:51 (-05:00)', 'Presentado por: orlandophilco_7@hotmail.com', 'Recibido: orlando.philco.ucsg@analysis.urdkund.com', and 'Mensaje: Tesis Mora. Mostrar el mensaje completo'. A yellow highlight indicates '4% de estas 55 páginas, se componen de texto presente en 5 fuentes.' On the right, a 'Lista de fuentes' (List of sources) table is visible, listing various documents and links. The main content area shows a snippet of text from a source, discussing light properties and materials, with a citation to 'Manual de la Iluminación'.

Categoría	Enlace/nombre de archivo
	TT-Jairo Galán-02-09-17-revisado.docx
	PROYECTO DE TITULACION ANDREA ARROYO 28-08-2014 correccion MAH.docx
	https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6348/1/UPE-KT00800.pdf
100%	Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental ? Ley de Régimen de ...

El trabajo de titulación del Sr. **Mateo Nicolás Mora Delgado**, presenta un porcentaje del 4% de coincidencias con otros documentos encontrados en internet.

MSc. Orlando Philco A.

Revisor

AGRADECIMIENTO

En el presente trabajo de titulación me gustaría agradecer primero a Dios por bendecirme en todo momento para alcanzar las metas que me he propuesto, porque es gracias a Él que pude hacer realidad este sueño tan anhelado.

A mis Padres que han sido mi sustento durante todos mis años de carrera estudiantil, enseñándome valores y motivándome día a día.

Y a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil por darme la oportunidad de estudiar, y por enseñarme lo necesario para convertirme en un profesional.

EL AUTOR

MATEO NICOLÁS MORA DELGADO

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a Dios quien supo guiarme por buen camino y darme las fuerzas para seguir adelante, enseñándome a no desmayar ante todos los problemas y adversidades que se presentaron.

A mi Papá que por su apoyo, consejo, comprensión y amor me ha ayudado en los momentos más difíciles y por sobre todo ayudarme con los recursos necesarios para poder estudiar y culminar mi carrera.

A mi hermano por su apoyo incondicional y desinteresado, poniéndome siempre primero a mí antes que él, motivándome en todo momento para siempre luchar y alcanzar mis sueños.

EL AUTOR

MATEO NICOLÁS MORA DELGADO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**

**CARRERA:
INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

**ROMERO PAZ, MANUEL DE JESÚS
DECANO**

f. _____

**PHILCO ASQUI, LUIS ORLANDO
COORDINADOR DE TITULACIÓN**

f. _____

**MONTENEGRO TEJADA, RAÚL
OPONENTE**

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
RESUMEN.....	XVI
ABSTRACT.....	XVII
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	2
1.1 Justificación y alcance.....	2
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo general.....	4
1.3.2 Objetivos específicos	4
1.4 Tipo de investigación.....	4
1.5 Metodología	5
PARTE I MARCO TEÓRICO	6
CAPÍTULO 2: ENERGÍA SOLAR.....	6
2.1 Historia.....	6
2.2 Una energía sustentable	7
2.3 Beneficios.....	9
2.3.1 Ambientales	9
2.3.2 Sociales	9
2.3.3 Económicos	10
2.4 Tipos de energía solar.....	10
2.4.1 Energía solar térmica	12
2.4.2 Energía solar termoeléctrica	16
2.4.3 Energía solar fotovoltaica.....	16
CAPÍTULO 3: SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	18
3.1 Introducción.....	18
3.2 Clasificación por su aplicación	18
3.2.1 Sistemas conectados a red.....	19
3.2.2 Sistemas autónomos.....	21
3.2.3 Sistemas de bombeo	22

3.3	Célula solar	23
3.3.1	Características básicas de las células solares.....	24
3.3.2	Parámetros fundamentales	25
3.4	Panel Solar.....	26
3.5	Regulador de carga.....	27
3.6	Acumulador	29
3.7	Inversor	32
3.8	Impacto ambiental.....	33
3.9	Sistemas fotovoltaicos en el Ecuador.....	35
CAPÍTULO 4: ILUMINACION ARTIFICIAL		36
4.1	Fundamentos	36
4.1.1	Luz y calor.....	36
4.1.2	Magnitudes de la luz	37
4.1.3	Leyes de la luz	39
4.1.4	Propiedades de los materiales.....	39
4.2	Tipos de luz.....	40
4.2.1	Incandescencia	40
4.2.2	Descarga eléctrica	40
4.3	Principales tipos de lámparas	41
4.3.1	Lámparas incandescentes	41
4.3.2	Lámparas halógenas de tungsteno.....	41
4.3.2	Lámparas fluorescentes tubulares y de tamaño reducido.....	43
4.3.3	Lámparas de inducción	44
4.3.4	Lámparas de mercurio de alta presión.....	44
4.3.5	Lámparas de haluro metálico.....	45
4.3.6	Lámparas de sodio de baja y alta presión.....	46
CAPÍTULO 5: ILUMINACIÓN LED.....		47
5.1	La tecnología LED.....	47
5.1.1	Conocimientos básicos de los LED.....	47
5.1.2	Ventajas de los sistemas de iluminación LED.....	49
5.2	Sistemas de alumbrado LED.....	51
5.2.1	Tipos de LED	52
5.2.2	Luminarias de alumbrado LED.....	53

5.2.3 Drivers y control de alumbrado	55
5.3 Aplicaciones	58
5.4 Iluminación LED para centros de enseñanza.....	60
5.4.1 Introducción	60
5.4.2 Niveles de iluminación	61
5.4.3 Dirección de la luz y sombras	62
5.4.4 Iluminación de la pizarra y salones con proyector	63
PARTE II APORTACIONES.....	64
CAPÍTULO 6: ESTUDIO TÉCNICO.....	64
6.1 Levantamiento de luminarias actuales de los cursos de la facultad	64
6.2 Análisis de consumo eléctrico actual.....	65
6.3 Análisis del consumo eléctrico con luminarias LED	68
6.4 Diseño del sistema solar fotovoltaico	70
6.4.1 Potencia real de generación	72
6.4.2 Número de paneles solares para el sistema	75
6.4.3 Inclinación de los módulos solares	78
6.4.4 Cálculo del inversor.....	79
6.4.5 Cálculo del banco de baterías.....	79
6.4.6 Cálculo del Regulador.....	81
CAPÍTULO 7: ESTUDIO ECONÓMICO.....	82
7.1 Análisis de costos del sistema de iluminación LED.....	82
7.2 Análisis de costos del SSFV	85
7.3 Análisis Costo vs Beneficio del proyecto.....	88
7.3.1 Criterios de evaluación del proyecto	90
7.4 Marco Legal	93
CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94
8.1 Conclusiones.....	94
8.2 Recomendaciones.....	95
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	96
ANEXOS.....	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Relación entre factores Ambiental – Social – Económico.....	8
Figura 2.2 Esquema de funcionamiento de calentador solar en residencia .	14
Figura 3.1 Clasificación de aplicaciones fotovoltaicas	19
Figura 3.2 Estructura fija módulos solares.....	20
Figura 3.3 Rascacielos con placas solares.....	20
Figura 3.4 Central Híbrida Eólico – Fotovoltaica.....	22
Figura 3.5 Sistema Fotovoltaico Autónomo	22
Figura 3.6 Sistema de bombeo solar de agua	23
Figura 3.7 Estructura de la célula Solar	25
Figura 3.8 Estructura panel fotovoltaico.....	27
Figura 3.9 Conexiones del regulador	28
Figura 3.10 Esquema general de una instalación con inversor	33
Figura 3.11 Paneles solares proveen luz en la isla Santay.....	35
Figura 4.1 Espectro electromagnético	37
Figura 4.2 Propiedades luminosas superficiales.....	40
Figura 4.3 El ciclo halógeno.....	42
Figura 4.4 Lámpara reflectora dicroica de baja tensión	42
Figura 4.5 Principio de lámpara fluorescente.....	44
Figura 4.6 Fluorescente de tamaño reducido	44
Figura 4.7 Componentes de una lámpara de mercurio.....	45
Figura 4.8 Lámpara de sodio de alta presión.....	46
Figura 5.1 Chip sin tensión aplicada	49

Fuente: FENERCOM, 2015	49
Figura 5.2 Chip con tensión aplicada.....	49
Figura 5.3 Luminaria para alumbrado exterior	54
Figura 5.4 Luminaria para alumbrado interior	55
Figura 5.5 Ejemplo de driver.....	56
Figura 5.6 Estadio iluminado con tecnología LED	59
Figura 5.7 Campus iluminado con tecnología LED	60
Figura 5.8 Requisitos del alumbrado de un aula.....	63
Figura 5.9 Iluminación adecuada para salones de clases	63
Figura 6.1 Diagrama de flujo para el diseño de SSFV	71
Figura 6.2 Arreglo fotovoltaico	78
Figura 6.3 Esquema general de una instalación fotovoltaica.....	81
Figura7.1 Panel Solar Panasonic HIT 320 W	86
Figura 7.2 Batería Ritar 150 Ah	87
Figura 7.3 Inversor SunnyBoy 5250 W	87
Figura 7.4 Regulador SunSaver.....	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Tipos de Energías Renovables	11
Tabla 2.2 Características de materiales para el almacenamiento de calor sensible.....	12
Tabla 2.3 Ejemplo de instalación solar para vivienda unifamiliar	13
Tabla 2.4 Indicadores de Energía Renovable 2016	17
Tabla 3.1 Diferencias entre los tipos de Paneles Solares.....	24
Tabla 3.2 Posibles clasificaciones de los tipos de reguladores	29
Tabla 3.3 Características de los principales tipos de baterías	30
Tabla 3.4 Baterías utilizadas en instalaciones solares.....	31
Tabla 4.1 Consumo total de electricidad del sector de la iluminación.....	36
Tabla 4.2 Capacidad del ojo ante las variaciones del nivel de iluminación..	37
Tabla 4.3 Tabla de niveles de iluminación (lux)	38
Tabla 4.4 Grupos de apariencia de color de lámparas	41
Tabla 4.5 Colores de metales usados en lámparas de haluro metálico.....	45
Tabla 4.6 Rendimientos típicos de las lámparas.....	46
Tabla 5.1 Características lámparas LED	48
Tabla 5.2 Gráfico comparativo entre tecnologías de iluminación.....	50
Tabla 5.3 Proceso de configuración del LED	52
Tabla 5.4 Tipos de LED	53
Tabla 5.5 Criterios de calidad	54
Tabla 5.6 Potencia máxima de iluminación.....	62
Tabla 5.7 Tabla de Establecimientos Educativos.....	62

Tabla 6.1 Lámparas existente en la Facultad	64
Tabla 6.2 Carga actual de luminarias en los salones de la FETD.....	65
Tabla 6.3 Cálculo de consumo eléctrico mensual de las luminarias	67
Tabla 6.4 Propuesta de lámpara LED para los cursos de la Facultad	68
Tabla 6.5 Cálculo de consumo eléctrico mensual con luminarias LED	68
Tabla 6.6 Heliofanía mensual y promedio en Ecuador	74
Tabla 6.7 Inclinación de paneles fotovoltaicos de acuerdo a su latitud.....	79
Tabla 7.1 Cargos Tarifarios CNEL UN GUAYAQUIL	82
Tabla 7.2 Análisis de costos por tiempo de vida útil	85
Tabla 7.3 Costos unitarios de los equipos del sistema solar	88
Tabla 7.4 Producción de energía por los paneles y su equivalente en dólares	89
Tabla 7.5 Viabilidad del proyecto	91
Tabla 7.6 Ahorro, Gastos por mantenimiento y depreciación	91
Tabla 7.7 Flujo de Caja y Flujo Neto	91
Tabla 7.8 Resultados obtenidos del estudio económico	92

RESUMEN

El Ecuador goza de una posición geográfica privilegiada, esto proporciona niveles elevados de radiación solar a lo largo del año que no podemos dejar de aprovechar y debemos seguir avanzando con proyectos que inviertan en energía solar. Es por esto que este trabajo de titulación se basa en corroborar la rentabilidad que podemos obtener al incorporar un sistema de generación de energía renovable para producir la demanda que necesita el sistema de iluminación para los salones de clases de la Facultad Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. El presente proyecto empieza aclarando los conceptos más importantes que se deben tener en cuenta al trabajar con las tecnologías implicadas. Luego se realiza el levantamiento de carga lumínica actual y se proponen luminarias LED que sustituyan las actuales para disminuir la demanda actual y brindar los niveles de iluminación adecuados. A partir de esto se dimensiona el sistema solar fotovoltaico y se especifican equipos para usar como los paneles solares, batería, inversor, etc. Para realizar el estudio económico y determinar el tiempo de amortización de la inversión.

Palabras Claves: RADIACIÓN, ENERGÍA SOLAR, RENTABILIDAD, GENERACIÓN DE ENERGÍA, LED, CARGA LUMÍNICA, PANELES SOLARES, INVERSOR.

ABSTRACT

Ecuador has a privileged geographical location, this gives high levels of solar radiation throughout the year and this is an opportunity that can't be missed, that's why we should continue working in projects that invest in solar energy. This is why this degree work intends to corroborate the rentability we can obtain when we incorporate a renewable energy generation system to produce the demand the illumination system needs for the classrooms from the Techniques Development Faculty at the Santiago de Guayaquil Catholic University. This project starts by clarifying the most important concepts that are relevant in order to work with the technologies involved. Later a current load survey is carried out and LED luminaires are proposed to replace current ones to reduce current demand and provide adequate lighting levels. From this the photovoltaic solar system is dimensioned and equipment is specified to be used, such as solar panels, battery, inverter, etc., to carry out the economic study and determine the amortization time of the investment.

Keywords: RADIATION, SOLAR ENERGY, RENTABILITY, ENERGY GENERATION, LED, LUMINIC CHARGE, SOLAR PANELS, INVERSORS.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación y alcance

Este Trabajo de Titulación tiene como finalidad demostrar la rentabilidad y beneficio ambiental que conlleva la utilización de fuentes de energías renovables, como lo es la energía solar fotovoltaica. Este análisis está enfocado hacia el uso de un sistema de paneles solares cuyo impacto ambiental es prácticamente nulo, esta tecnología es una tendencia que está creciendo rápidamente en todo el mundo para disminuir la contaminación que causan las otras fuentes de energía producida por combustibles fósiles, permitiendo la generación de energía eléctrica limpia para cubrir la demanda deseada que es la iluminación para los cursos de la Facultad Técnica para el Desarrollo desde el curso Ft-1 hasta el Ft-16 en los que aún no se cuenta con lámparas LED.

Además, ofrecer a los estudiantes una óptima iluminación en los salones de clases mediante las luminarias LED que no contaminan como las lámparas tradicionales y proporcionando un rendimiento elevado necesitando una potencia más baja para trabajar en comparación a los tubos fluorescentes que se usan en nuestros salones actualmente. Hay luminarias LED que no necesitan reemplazar toda la instalación para ser implementadas, es decir que son compatibles a las instalaciones tradicionales para los sistemas de iluminación, lo que ofrecería evitar gastos en la remodelación y diseño de nuevas instalaciones para estas luminarias. Dependiendo del modelo escogido, las lámparas LED permiten un ahorro de hasta un 65% frente a los tubos fluorescentes.

Los beneficiarios serán los estudiantes, quienes tendrán una mejor calidad de iluminación ya que esta tecnología es mucho más eficiente, también las autoridades que ahorrarán en el pago por el consumo de energía eléctrica, además en el mantenimiento de estos equipos que es menor al de los que se usan regularmente y su tiempo de vida útil es mayor.

1.2 Planteamiento del problema

Uno de los problemas más grandes que tiene el mundo actualmente es la contaminación, la destrucción de la capa de ozono sigue avanzando día a día porque aún no se hace lo necesario para contrarrestar este efecto ya que las emisiones de gases contaminantes siguen estando presentes. Es por esto por lo que muchos países alrededor del mundo están optando por la utilización de fuentes de energía no contaminantes para ir poco a poco mermando este hecho.

Una de las formas más usadas de aportar a este cambio es adoptando el uso de un sistema solar fotovoltaico ya que se emplea la luz del sol sin necesidad de contaminar al medio ambiente, en nuestro país también ya se empezó a usar esta forma de generación de energía por lo que sería una gran herramienta que podemos considerar para las instalaciones de nuestra Facultad para empezar y posteriormente en toda la Universidad. Un factor muy importante que influye en esta línea de investigación es que nuestro país está ubicado en una posición geográfica adecuada para este fin porque estamos en el centro del mundo, donde la radiación solar es elevada, lo cual es ideal para generar energía mediante luz solar.

Por otro lado, se encuentra en auge la tecnología de luminarias de tipo LED ya que provocan ahorro económico porque consumen menos energía eléctrica al necesitar potencias más pequeñas, su costo de mantenimiento es menor y tienen una mayor vida útil en comparación a las otras como las fluorescentes que están en nuestros salones de clases.

Es un hecho que el gasto por consumo eléctrico implica en un gran porcentaje la iluminación, en nuestros cursos se dictan clases desde las 7 de la mañana hasta las 10:30 de la noche de lunes a viernes y los sábados en un horario reducido. Por esto, optar por la adopción de estas dos tecnologías en conjunto puede hacer una gran diferencia en el aspecto ambiental y económico no solamente para nuestra facultad sino también para las demás que forman la Universidad Católica.

La contraparte se encuentra al momento de invertir en este tipo de proyectos ya que sabemos que la primera inversión es elevada, es cierto que se la recupera, pero puede llegar a tardar varios años. Con el pasar de los años los precios de los equipos ha ido disminuyendo y los gobiernos fomentando su uso, pero aún existe la duda sobre apostar por estas variantes de generación e iluminación.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Analizar los factores técnicos y económicos para comprobar la factibilidad de la migración a un sistema de iluminación de tipo LED para los salones de clases de la facultad alimentados por energía solar mediante paneles fotovoltaicos.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar la demanda actual y gasto por consumo energético de la carga lumínica actual en los cursos de la facultad.
- Proponer luminarias LED para reemplazar fluorescentes actuales y dimensionar el sistema fotovoltaico.
- Demostrar la viabilidad del proyecto mediante un cuadro de Costo-Beneficio.

1.4 Tipo de investigación

Este trabajo de titulación se realizó mediante una investigación de tipo Documental ya que se enfoca en la recopilación de documentos, libros, revistas científicas, páginas web, entre otras fuentes de información.

Parcialmente se utiliza en parte las técnicas de una investigación de Campo ya que se deben realizar los cálculos respectivos en el lugar donde está el problema para adquirir los datos necesarios para el estudio de la demanda requerida para el sistema de iluminación y la potencia a generar por parte de los paneles fotovoltaicos.

Por último, se realiza una investigación de tipo Descriptiva ya que se analizan las variables para el estudio económico sobre la utilidad del proyecto.

1.5 Metodología

La metodología de investigación de este trabajo se relaciona con la recopilación de datos e información teórica y técnica con el fin de realizar el análisis pertinente sobre las dos tecnologías propuestas para lograr el propósito de este.

Además de esto se realizará el levantamiento de carga en cada uno de los salones para conocer a ciencia cierta el dato de la demanda a cubrir que es una variable imprescindible para cumplir el objetivo, el tipo de luminarias que se usan y los equipos que conforman el sistema de iluminación de los cursos.

Se adhiere un análisis de la composición (equipos) y dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico que se utilizará para alimentar el sistema de iluminación LED y de las características que deben tener las luminarias que lo compongan para tener un funcionamiento duradero y eficiente.

Para concluir la rentabilidad del trabajo se aplica un estudio económico de la inversión que se requiere en el proyecto, el tiempo en la cual se recupera y el ahorro que se tendría en los años siguientes.

PARTE I MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO 2: ENERGÍA SOLAR

2.1 Historia

Para muchos la energía solar puede sonar como algo novedoso, una forma de obtención de energía que recién se está usando, pero en realidad esta se empezó a usar desde años antes de Cristo. Se mencionarán hechos relevantes de la historia de este tipo de energía porque siempre es importante saber de dónde venimos para poder enfrentar de una mejor manera a dónde vamos.

Las primeras cosas que el hombre realizó usando la energía proveniente del sol, fueron crear fuego y encender objetos como antorchas mediante el uso de lupas y espejos. También, en Roma usaban la radiación solar para calentar las casas de baño y obtener la temperatura deseada. Luego de estas aplicaciones que pueden ser primitivas, se iniciaron los estudios desde el año 1767 cuando un científico suizo construyó el primer colector solar.

Con el pasar de los años varios científicos como: Edmond Becquerel, August Mouchet, Willoughby Smith, continuaron realizando estudios hasta que Charles Fritts logra describir una celda solar fabricada con selenio. Esto siguió así durante el siglo XIX donde se puede destacar el invento del primer calentador solar por Clarence Kemp.

A principios del siglo XX el científico Albert Einstein contribuyó al estudio de la energía solar publicando su investigación sobre el efecto fotoeléctrico, lo que le daría en 1921 el premio Nobel. El efecto fotoeléctrico se siguió estudiando en los años siguientes en diferentes materiales y realizando también pruebas experimentales. Pero no fue hasta la década de los 50 que se pudo desarrollar una celda fotovoltaica capaz de energizar y hacer funcionar un aparato eléctrico, lo que hizo nacer a la tecnología fotovoltaica.

Es aquí cuando se tiene la idea de usar esta fuente de energía para los satélites artificiales que orbitarían la tierra y en 1958 el satélite Vanguard I usa esta tecnología para energizar los radios que tenía y posteriormente fueron desplegados más satélites implementando paneles fotovoltaicos.

Después de esto, se siguió estudiando para poder lograr un sistema más eficiente ya que, la eficiencia de las celdas en ese momento no era mayor a un 10%. Aun así, se siguió implementando esta tecnología, como en Japón que se la utilizó para energizar un faro. También se hacen la primera casa solar, el primer avión solar y el primer automóvil solar.

En la década de los 90 ya se logra una mayor eficiencia en las celdas solares, lo que incrementa su uso y se alcanza una capacidad instalada todo el mundo de aproximadamente 1000 megawatts. Ya en el presente siglo se puede ver con mayor notoriedad el crecimiento que está teniendo esta tecnología ya que se ha logrado una mayor eficiencia y además su precio de fabricación e instalación se ha reducido considerablemente. Año tras año alrededor del mundo no solo se ven parques solares para generación, sino que también en edificios, casas, medios de transporte, entre otras cosas que están aportando a combatir el efecto invernadero. (Alcubierre, 2013)

2.2 Una energía sustentable

Escuchamos y leemos a muchas personas asegurando que es sustentable, pero ¿a qué se refieren con esta característica? Es por esta interrogante que Debemos considerar reconocer la sustentabilidad de la energía solar. Entonces, hay que tener claro el concepto de sustentabilidad antes de estudiar a fondo todo lo que permite la energía solar.

La definición más acertada para nuestro estudio es la siguiente: “La sustentabilidad está basada en un sencillo principio: Todo lo que necesitamos para sobrevivir y nuestro bienestar depende, directa o indirectamente, de un medio natural. La sustentabilidad crea y mantiene condiciones bajo las cuales los humanos y la naturaleza pueden existir en una armonía productiva, que permita satisfacer los requerimientos sociales,

económicos y ambientales del presente y futuras generaciones.” - EPA (Environmental Protection Agency).

A partir de esto podemos darnos cuenta de que se deben cumplir dos aspectos importantes:

1. Para que algo sea sustentable o sostenible, en nuestro caso la energía solar, debe cumplir estrictamente beneficios en los tres siguientes ámbitos:
 - Ambiental
 - Social
 - Económico
2. Tiene que ser capaz de poder satisfacer las necesidades que existen actualmente sin tener repercusiones en el bienestar de las futuras generaciones. (Alcubierre, 2013)

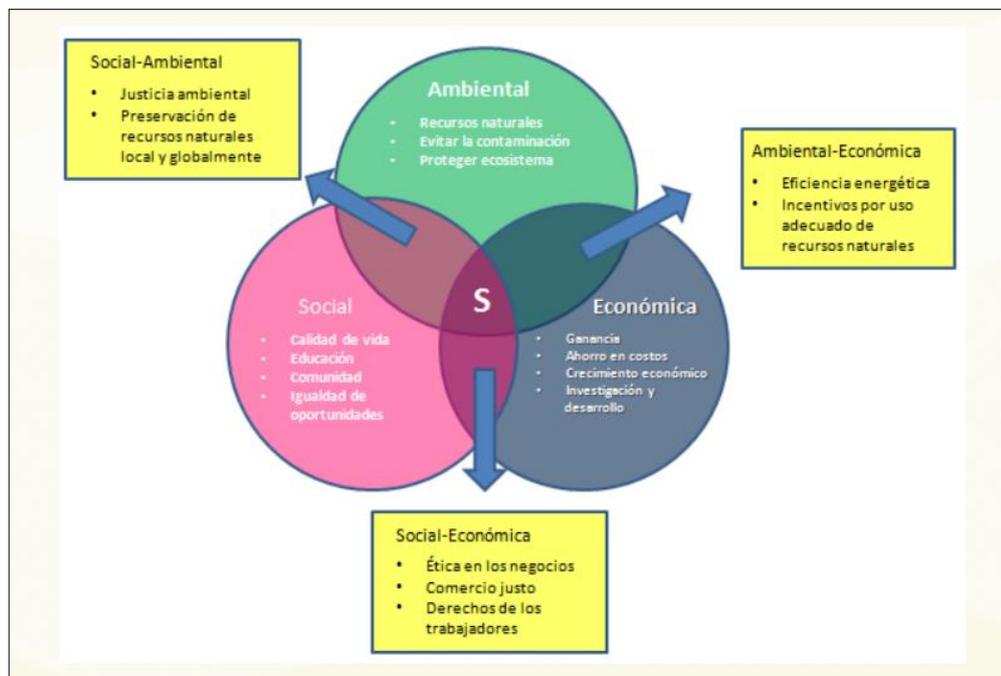


Figura 2.1 Relación entre factores Ambiental – Social – Económico
Fuente: Diego Alcubierre, 2013

2.3 Beneficios

Como se mencionó anteriormente, una energía sustentable o sostenible debe tener beneficios que cumplan con los ámbitos: ambiental, social y económico. Para esto se procederá a realizar una descripción de como cumple con cada uno de ellos.

2.3.1 Ambientales

- No necesita de combustibles fósiles y al no necesitar quemar alguna sustancia, no produce contaminación, por lo que se la considera una energía limpia y ayuda a reducir las emisiones de dióxido de carbono al medio ambiente.
- Puede ser instalada en edificaciones o construcciones existentes como, por ejemplo: locales comerciales, edificios, casas, etc. Se genera y se usa la energía en el mismo sitio por lo que evita en parte la implementación de líneas de transmisión y distribución que también son contaminantes y costosas.
- Muchos de los parques solares y centrales de generación han sido instalados en zonas donde no se afecta al ser humano, ya que son lugares donde no se puede vivir, como es el caso de los desiertos. (Alcubierre, 2013)

2.3.2 Sociales

- Hay una causante conocida de las guerras en el medio oriente, esta es la reserva de petróleo que tienen algunos de esos países. Al momento de implementar una nueva forma de generación de energía se puede ayudar a disminuir la tensión que hay por controlar esos grandes yacimientos que existen.
- Según estudios realizados por entes internacionales se afirma que la creación de plantas de energía renovable en países como el nuestro, en especial la energía solar, ha traído consigo el aumento de ofertas de empleos.

- Mediante esta forma de generación de energía limpia podemos ser parte de salvar a nuestro planeta de una pronta destrucción y prolongar la existencia de los seres humanos. (Alcubierre, 2013)

2.3.3 Económicos

- Al permitirnos generar por nosotros mismos, como en nuestro hogar si instalamos un panel solar, seguramente reduciremos el gasto por el consumo de energía eléctrica.
- Bienes inmuebles existentes que posean paneles solares o algún otro equipo para el fin de generar energía con esta tecnología, tienen un mayor valor adquisitivo. Es posible calcular el valor del incremento monetario a partir de cada watt instalado.
- El mantenimiento de los equipos de generación de energía solar tiene un costo menor en comparación al mantenimiento de otros equipos de otro tipo de energía, incluso menor al de otras energías renovables como en el caso de la energía eólica.
- Evita la subida excesiva de los precios de los combustibles fósiles. (Alcubierre, 2013)

2.4 Tipos de energía solar

La energía solar, según las características mencionadas anteriormente, es considerada una energía sustentable, sostenible o comúnmente llamada renovable. Se obtiene a través de la radiación electromagnética emitida por el sol. Como ya sabemos, desde los años antes de Cristo se utilizaba la radiación electromagnética de la luz solar, aunque claro está, que no se sabía por qué sucedía esto, era algo empírico, mas no una tecnología aún. Con el paso de los años esto fue evolucionando y dando cabida a una de las fuentes de energía más importantes hoy en día y que promete mucho para los años próximos.

En este momento, se usa el calor y la luz solar para generar energía. Primero se capta la radiación del sol mediante dispositivos o aparatos que son justo para este fin, recibir la radiación y transformarla en energía térmica o eléctrica. Estos pueden ser las células fotovoltaicas, que es uno de

nuestros temas de interés, colectores térmicos, entre otros. Y cabe recalcar que solamente con lo mencionado, nos podemos dar cuenta que no menciona ningún tipo de contaminación por parte de esta tecnología para hacer su función.

La tecnología solar se divide en dos clases, esto dependerá de la forma en la cual se capta la radiación, cómo se la convierte en energía y cómo es distribuida. Estas son: Energía Solar Pasiva y Energía Solar Activa. La tecnología activa se caracteriza porque utiliza colectores solares y paneles o células fotovoltaicas, es decir que requieren artefactos para realizar su trabajo a diferencia de la tecnología pasiva que puede aplicarse de varias formas aprovechando directamente la energía del sol, por ejemplo: se construyen casas o edificios con cierta inclinación u orientación para una mejor captación de la luz del sol, se utilizan componentes de las construcciones con una masa térmica conveniente o materiales que presenten características para la dispersión de luz. Otra clasificación que tiene la energía solar es sometiéndose a la forma de utilizar la radiación solar, estas son: térmica, termoeléctrica y fotovoltaica.

Tabla 2.1 Tipos de Energías Renovables

Energía final	Tecnología energía renovable	Recurso empleado
Electricidad	Solar fotovoltaica Solar termoeléctrica	Luz solar
	Eólica	Viento
	Combustión de biomasa	Biomasa
	Metanización	Residuos orgánicos
	Geotérmica	Calor geotérmico
	Marina de oleaje y mareas	Mares y océanos
	Minihidráulica	Ríos
Combustible sustituto del petróleo	Biodiesel / bioetanol	Biomasa
Térmica: calor / frío	Solar térmica	Luz solar
	Combustión biomasa	Biomasa
	Geotérmica	Calor geotérmico

Fuente: Actitud Ecológica, 2017

2.4.1 Energía solar térmica

Esta clasificación de energía solar térmica es también llamada energía termosolar. Se basa en explotar la energía que proviene del sol para generar calor, el cual puede emplearse en la cocción de alimentos, en el calentamiento de agua para el uso doméstico, para calefacción, entre otros. Sus instalaciones tienen cuatro secciones, primero captar la luz del sol, seguidamente se la almacena, se la distribuye y controla. También puede servir para un sistema de refrigeración, más específicamente hablando, un sistema de refrigeración por absorción, el cual requiere de calor para acondicionar el recinto en el que fue instalado.

Tiene una gran ventaja, esta es que no contamina y usa un recurso natural e inagotable, aportando a la conservación del ecosistema y al cuidado de la salud de los seres humanos. Por otro lado, implementar esta tecnología podría llegar a costar de 8 a 12% más que el típico sistema de calefacción, pero sin duda la inversión se recupera y luego se convierte en ahorro debido a la disminución del consumo energético.

La energía solar térmica para su trabajo necesita de colectores y se clasifica dependiendo de si estos son de baja, media o alta temperatura.

Tabla 2.2 Características de materiales para el almacenamiento de calor sensible.

	Temp. Min. (°C)	Temp. Máx. (°C)	Densidad (kg/m³)	Conductividad térmica (W/mK)	Capacidad térmica Cp (kJ/kg K)	Coste medio (\$/kg)
Medios líquidos						
Agua	0	100	1000	0,597	4,18	<0,01
Aceite mineral	200	300	770	0,12	2,6	4,2
Aceite de silicona	300	400	900	0,10	2,1	8
Sales nitratos	265	565	1870	0,52	1,6	3,7
Sodio líquido	270	530	850	71	1,3	21
Sales Carbonatos	450	850	2100	2	1,8	11

Medios sólidos						
Hormigón armado	200	400	2200	1,5	0,85	1
Acero colado	200	700	7800	40	0,6	60
Ladrillos refractarios Silica	200	700	1820	1,5	1	7
Ladrillos refractarios Magnesia	200	1200	3000	5	1,15	6

Fuente: FENERCOM, 2012

Tabla 2.3 Ejemplo de instalación solar para vivienda unifamiliar

Caso tipo 1	Equipo prefabricado en vivienda unifamiliar
Superficie de captación	2m ²
Producción energética	1.245 te/año
Inversión unitaria por m ² captador	676 \$/m ²
Ahorro estimado según energía sustituida	75 \$/año para gas 137 \$/año para electricidad
Gastos de operación y mantenimiento	15 \$/año. 1.80% sobre inversión

Fuente: Blog Energía Solar Térmica, 2015

2.4.1.1 Energía solar térmica de baja temperatura

La energía termosolar de baja temperatura tiene como principal aplicación el calentamiento de agua para uso doméstico, como en el caso del agua para los baños o piscinas. Trabaja con temperaturas de hasta 65° C. Está conformada por las siguientes partes principales:

- Captador solar
- Circuito primario
- Circuito secundario
- Acumulador
- Intercambiador de calor
- Vaso de expansión
- Tuberías

Los captadores solares son los componentes que captan la energía que proviene del sol y la transforma a energía térmica, es decir que la transforma en calor. Hay varios tipos de captadores pero el más usado la

mayor parte del tiempo para producir agua caliente sanitaria son los de tipo placa plana con cubierta de vidrio.

Su funcionamiento es sencillo, la luz del sol pasa a través del vidrio calentando unos tubos metálicos de color oscuro (característica debida a que las áreas oscuras atraen más calor) que conducen el calor al agua o cualquier otro líquido que se encuentre en su interior. El vidrio también tiene el propósito de proteger el sistema y además imitando a la capa de ozono para realizar el efecto invernadero, mantiene calor en el captador y optimiza su rendimiento.

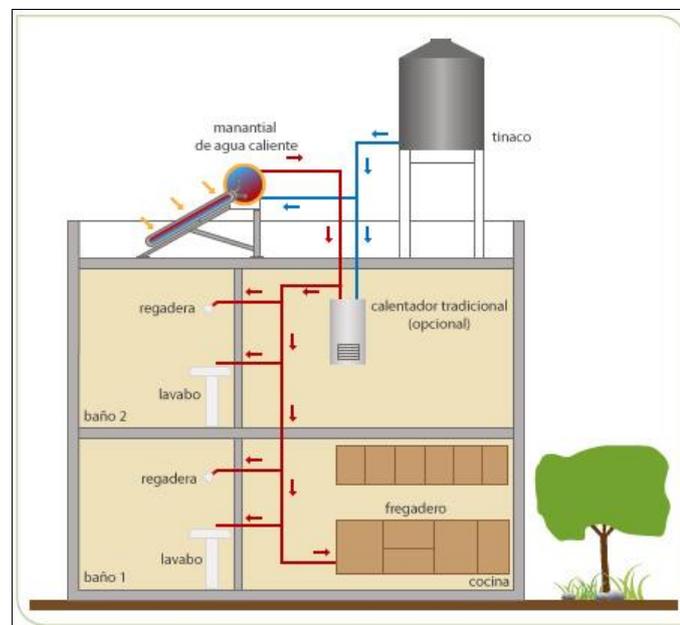


Figura 2.2 Esquema de funcionamiento de calentador solar en residencia
Fuente: Nicolás Romero, 2016

2.4.1.2 Energía solar térmica de media temperatura

Estas instalaciones se utilizan para situaciones o procesos en los que se requieran temperaturas de 100 a 250 grados centígrados. Utilizan dos tipos de colectores solares: Colectores solares de vacío para temperaturas de hasta 120° C y si queremos una temperatura más elevada se usan los Colectores solares de concentración.

Últimamente se ha estado innovando en un nuevo tipo de colectores de temperatura media que son colectores permanentemente húmedos. El fin de

utilizar esta nueva técnica es la reducción de tensiones causadas por estancamiento, las cuales son las causantes de reducir la vida útil de los colectores.

Entre las principales aplicaciones de la energía solar se encuentran el secado de madera utilizada en construcción y madera empleada como agente de energía primaria para combustión. Además de su uso para el secado de alimentos para obtener frutos y granos secos, hasta pescado. Para el secado de cultivos sin necesidad de involucrar medios contaminantes y que el producto sea limpio y de buena calidad. Otra labor que tiene esta tecnología se da en las cocinas solares, su principal beneficio es que no necesita gas ni otro producto derivado de combustibles fósiles, lo que reduce el consumo de ese tipo de combustible y eliminando la emisión de humo.

2.4.1.3 Energía solar térmica de alta temperatura

Finalmente tenemos a las instalaciones térmicas de alta temperatura. Esta tecnología se caracteriza por tener colectores solares que operan a temperaturas elevadas. Estamos hablando de temperaturas que oscilan los 500° C y ya se utilizan para la generación de energía eléctrica.

La energía solar térmica de alta temperatura se puede obtener por diferentes tecnologías, como son los captadores solares cilindro-parabólicos que utilizan espejos en forma de parábola que en su punto medio tiene una tubería donde está el agua o el líquido que se desea calentar y puede llegar a temperaturas de hasta 450°C. Las centrales solares de torre que también usa un conjunto de espejos, pero en este caso apoyados sobre dos ejes móviles y funciona generando vapor para mover turbinas para generar energía mecánica para posteriormente transformarla en energía eléctrica. Los discos parabólicos cuyo principio de funcionamiento es concentrar la energía dirigiéndola a un lugar donde estará ubicado el receptor solar (donde estará ubicado el fluido que podrá llegar a temperaturas superiores a los 750°C) y un motor de combustión externa que a la vez se encuentra conectado a un alternador. El motor Stirling es el adecuado para este

sistema, ya que puede utilizar la energía calorífica almacenada en el receptor debido a la radiación solar para generar movimiento, el cual será empleado por el alternador para generar energía eléctrica.

2.4.2 Energía solar termoeléctrica

La radiación proveniente del sol puede ser captada y transformada en energía eléctrica mediante dos procesos distintos. Uno de los procesos es usando paneles solares que transforman la energía directamente, lo cual analizaremos posteriormente en este trabajo. El otro es transformando la energía solar en energía térmica primero para a partir de esta, generar energía eléctrica. En este tipo de energía se utilizan técnicas para utilizar la radiación solar para transformarla en electricidad primeramente empleando una conversión en energía térmica o calor y se clasifican en dos grupos. Primero están las que almacenan la energía de los rayos solares en un solo punto, para esto usan herramientas como concentradores o espejos. Luego las que enfocan la energía en un punto específico, pero logran un grado de concentración mucho más elevado. El fin de estas es calentar agua o algún tipo de fluido para transformarlo en vapor y generar energía mecánica que será convertida por un alternador o un generador en energía eléctrica que podrá ser elevada con un transformador para poder ser transmitida y distribuida. (Fenercom, 2012)

2.4.3 Energía solar fotovoltaica

Esta es una de las energías renovables más prometedoras para los próximos años, poco a poco ha ido ganando terreno en la generación de energía eléctrica a pequeña y gran escala, se convertirá en la fuente de energía más rentable en muchos países alrededor del mundo por su eficiencia y porque el costo de su fabricación, implementación y mantenimiento cada vez es más bajo.

Hoy en día se conoce que la energía solar fotovoltaica aporta con un 47% aproximadamente en el total de la energía eléctrica generada en el mundo por energías renovables superando a la hidroeléctrica, eólica y biomasa. Además, superando directamente a su compañera de fuente de

alimentación (luz solar) que es la energía térmica o termoeléctrica. A finales del 2016 la capacidad entregada por las energías renovables se duplicó y las inversiones apostando por esta nueva opción limpia y eficiente para la generación de energía fueron mayores que las destinadas a las energías que utilizan combustibles fósiles para realizar su trabajo. (Bejerano, 2017)

Tabla 2.4 Indicadores de Energía Renovable 2016

Inversión		2015	2016
Nueva inversión anual es energía renovable	Billones USD	312.2	241.6
Potencia			
Potencia total renovable sin hidroeléctrica	GW	785	921
Potencia total renovable con hidroeléctrica	GW	1856	2017
Hidroeléctrica	GW	1071	1096
Geotérmica	GW	13	13.5
Solar	GW	228	303
Térmica	GW	4.7	4.8
Eólica	GW	433	487

Fuente: WorldEconomicForum, 2017

Su principio de funcionamiento es sencillo, al momento de recibir la luz del sol, la cual está compuesta por fotones, se genera un campo eléctrico entre las capas de silicio o del material semiconductor del cual estén hechas las células solares. La intensidad de la luz solar será directamente proporcional al flujo de electricidad. Esto no quiere decir que siempre se necesitarán días soleados, ya que en días nublado el sistema puede seguir trabajando.

La electricidad que producen los paneles gracias a la luz del sol es continua. Dependiendo qué será lo que alimente esta corriente, se la puede dejar de esa naturaleza o utilizar un equipo destinado a convertirla a corriente alterna. Esta última situación se da en la mayoría de las instalaciones ya que, por ejemplo, en nuestros hogares la mayoría de los electrodomésticos la requieren. El inversor es el encargado de realizar esta función, lo que también permite que, si se genera más energía de la demandada, podría ser entregada a la red eléctrica. (González, 2012)

CAPÍTULO 3: SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

3.1 Introducción

Lamigueiro (2015) afirma: “Un sistema fotovoltaico es el conjunto de equipos eléctricos y electrónicos que producen energía eléctrica a partir de la radiación solar. El principal componente de este sistema es el módulo fotovoltaico, a su vez compuesto por células capaces de transformar la energía luminosa incidente en energía eléctrica de corriente continua. El resto de equipos incluidos en un sistema fotovoltaico depende en gran medida de la aplicación a la que está destinado. A grandes rasgos los sistemas fotovoltaicos pueden clasificarse en tres grandes grupos conectados a red (gridconnected), autónomos (off-grid) y de bombeo”

3.2 Clasificación por su aplicación

En la figura 5 podemos observar un cuadro con la clasificación de la energía solar fotovoltaica según su aplicación, empezando con tres grandes grupos que se distinguen por estar o no conectados a la red y por ser de bombeo.

Cada una de las ramas en las cuales se dividen los sistemas fotovoltaicos tiene sus características propias que dependen de muchos factores como el lugar donde estará o su función, pero siempre mantienen su estructura o configuración básica como todo SSFV.

Actualmente en nuestro país se tienen en su mayoría sistemas solares fotovoltaicos autónomos de electrificación que se encuentran ubicados en zonas rurales donde aún no llega la red eléctrica convencional para proveer electricidad a las personas que habitan allí.

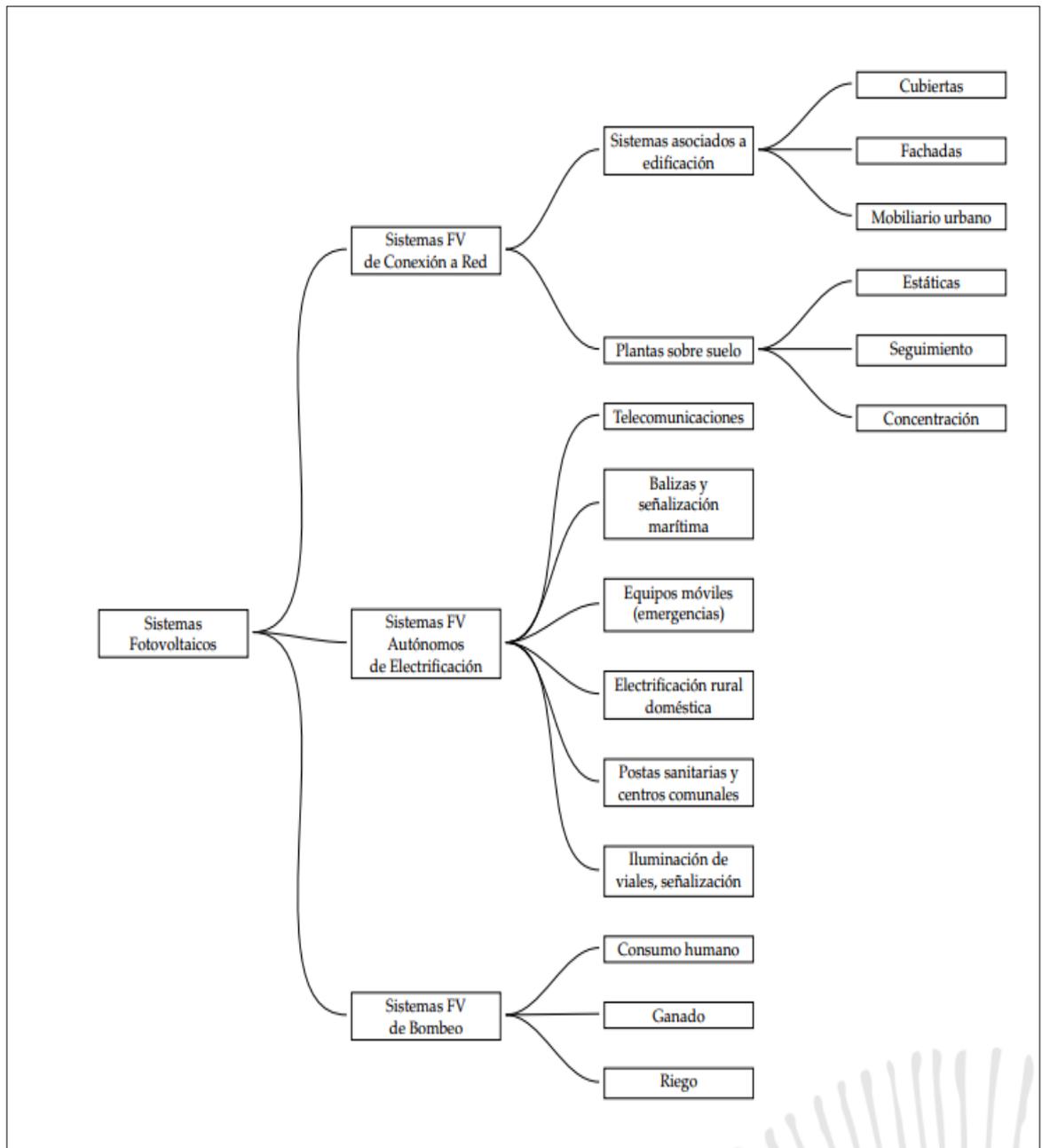


Figura 3.1 Clasificación de aplicaciones fotovoltaicas

Fuente: Energía Solar Fotovoltaica, 2015

3.2.1 Sistemas conectados a red

Estos sistemas tienen como propósito entregar energía a la red eléctrica a la que esté conectado. No se preocupan por cubrir alguna demanda de consumo, tampoco por contar con equipos para almacenar la energía. Lo que si necesitan para acoplarse debidamente a la red eléctrica es un inversor, el cual ajusta la potencia del generador fotovoltaico según las características de la red.

Se pueden dividir en sistemas instalados a nivel del suelo o en edificaciones. En el caso de los sistemas a nivel del suelo, comprendidos principalmente para producir energía, tienden a superar los 100kW de potencia. Los sistemas instalados en edificaciones suelen cubrir otras funciones sumadas a la producción de energía. Estas pueden ser: sustituir componentes arquitectónicos, estética, sombreado de vidrios o cristales, entre otras.

Habitualmente, son sistemas de menor capacidad de generación que los instalados en el suelo, llegando a potencias inferiores a los 100kW. (Lamigueiro, 2015)



Figura 3.2 Estructura fija módulos solares
Fuente: Alexandra García, 2015



Figura 3.3 Rascacielos con placas solares
Fuente: Palou, Nacho, 2007

3.2.2 Sistemas autónomos

Los sistemas autónomos se caracterizan por cubrir una gran cantidad de aplicaciones. Su propósito es cubrir una demanda energética determinada, por lo que en este caso si es necesario que el sistema cuente con un equipo de almacenamiento de energía. Se pueden clasificar según sus aplicaciones profesionales, de electrificación rural y pequeño consumo.

Las aplicaciones de pequeño consumo comprenden aquellos sistemas con módulos fotovoltaicos pequeños, usualmente de silicio amorfo, la energía que genera sirve para alimentar cosas pequeñas como equipos electrónicos, relojes, herramientas eléctricas pequeñas, cargadores de celulares y otros equipos de pequeña potencia como estos.

Los sistemas autónomos con aplicaciones profesionales tienen una mayor versatilidad e incluyen campos como los radioenlaces, energía para hoteles, señales de tránsito, navegación aérea, transmisión de datos y como conocemos para energizar satélites artificiales.

La principal característica de las aplicaciones de este sistema de paneles es su alta fiabilidad. Detener el suministro de energía de estas aplicaciones puede llegar a ser muy costoso, es por esto por lo que se elige añadir un generador fotovoltaico y un acumulador electroquímico para reducir al mínimo la probabilidad de fallo. También se prefiere acoplar un grupo electrógeno, para reducir el tamaño del equipo de almacenamiento de energía o como equipo de respaldo.

Su aplicación en la electrificación rural proporciona energía eléctrica a pequeñas localidades que se encuentran lejos de las redes eléctricas. En este caso se emplean comúnmente sistemas domésticos, centrales híbridas y los sistemas de bombeo. Los sistemas domésticos usualmente abarcan potencias entre los 100 y 200 Watts y se enfocan en las viviendas y algunas veces en pequeños centros de salud. Las centrales híbridas proveen energía eléctrica para la alimentar luminarias, radios, televisores y pequeños

aparatos o herramientas eléctricas. Las centrales híbridas presentan un generador fotovoltaico, un acumulador electroquímico y un grupo electrógeno o una turbina eólica.

Proporcionan una red eléctrica para una pequeña población rural y su potencia depende del tamaño de la comunidad a la que va a alimentar y pueden abarcar potencias desde 10 kW hasta 100 kW. (Lamigueiro, 2015)



Figura 3.4 Central Híbrida Eólico – Fotovoltaica
Fuente: Ineral, 2015



Figura 3.5 Sistema Fotovoltaico Autónomo
Fuente: Natasha Cedeño, 2016

3.2.3 Sistemas de bombeo

La función de los sistemas de bombeo es utilizar la energía eléctrica producida por el generador del sistema fotovoltaico para energizar y arrancar

una motobomba que transporta agua desde un acuífero hasta una red de distribución de agua. Para hacer el sistema más económico y confiable.

Comúnmente se suele colocar el depósito en un lugar elevado para beneficiarse de la aparición de energía potencial que se produciría por la caída del agua facilitando su desplazamiento y facilitando o disminuyendo el trabajo del sistema. Sus aplicaciones se basan en suministrar agua para el consumo de los seres humanos, animales y plantas. (Lamigueiro, 2015)



Figura 3.6 Sistema de bombeo solar de agua
Fuente: Bio Energéticos, 2015

3.3 Célula solar

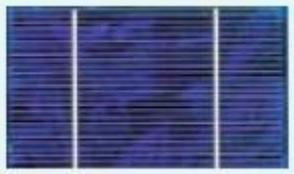
Este es el generador de energía, lo que lo convierte en el elemento principal de las instalaciones solares, el cual se conoce como “célula solar”. Su característica más importante es la de transformar directamente los fotones que obtiene de los rayos del sol en electricidad.

Su principio de funcionamiento radica específicamente en el “efecto fotovoltaico”, el cual es una propiedad que gozan ciertos elementos para producir corriente eléctrica cuando reciben radiación lumínica, al principio se usaba selenio y ahora se usa silicio que presenta un mayor nivel de eficiencia.

En la siguiente tabla podremos observar las características más importantes de los diferentes tipos de paneles solares que podemos

encontrar actualmente en el mercado y así poder saber cuál se ajusta más a nuestra necesidad y presupuesto. (Díaz & Rubio, 2010)

Tabla 3.1 Diferencias entre los tipos de Paneles Solares

Células	Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo	Fabricación
	Monocrystalino	24%	15-18%	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro
	Policristalino	19-20%	12-14%	Igual que el del monocrystalino, pero se disminuye el número de ases de cristalización.
	amorfo	16%	<10%	Tiene la ventaja de depositarse de forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

Fuente: Díaz & Rubio, 2010

3.3.1 Características básicas de las células solares

Las células solares tienen el comportamiento de un diodo (Unión P-N).

El cuál es el siguiente:

- La parte que se expone a la radiación solar es la N.
- La parte P permanece en la oscuridad.
- Sus terminales de conexión se encuentran en estas partes del diodo.
- La sección N se encuentra metalizada en forma de peine para que la luz solar pueda llegar a ella.
- la sección P se encuentra metalizada completamente porque no necesita recibir luz. (Díaz & Rubio, 2010)

En la Figura 11 se puede observar la estructura y composición de las células solares, desde una perspectiva externa e interna.

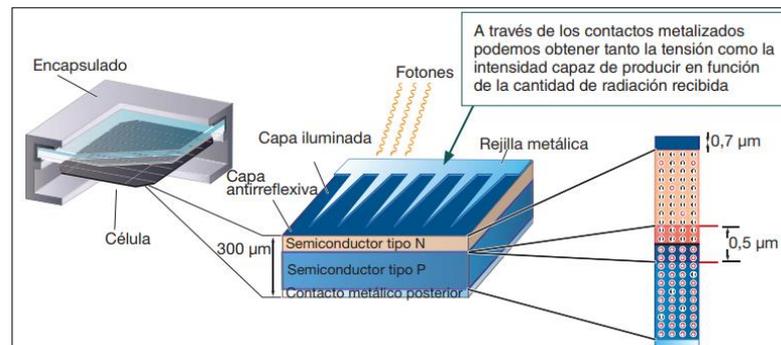


Figura 3.7 Estructura de la célula Solar

Fuente: Díaz & Rubio, 2010

3.3.2 Parámetros fundamentales

Al momento de recibir luz estando conectadas a una carga externa, las células fotovoltaicas que forman las placas solares funcionan como generador de energía y generan valores de corriente y voltaje que pueden cambiar dependiendo de la temperatura y de la irradiación. La irradiación es la intensidad de radiación solar que llega hasta el panel, la cual se mide como una potencia instantánea por unidad de superficie (W/m^2 o unidades equivalentes).

A continuación, se describirán los parámetros fundamentales de un módulo solar, los valores nominales de cada uno de ellos se los puede obtener en la ficha técnica de cada equipo.

- **Corriente de cortocircuito:** es el valor de la corriente que se encuentra circulando por el módulo en el instante que la tensión en sus terminales es igual a cero. Además, es la corriente máxima que puede alcanzar el panel trabajando como un generador.

- **Tensión de circuito abierto:** es la tensión máxima que puede polarizar al módulo cuando trabaja como generador.

- **Punto de potencia máxima:** es el punto de funcionamiento en el cual la potencia que entrega el panel solar a la carga a la cual alimenta, es máxima. La potencia que el panel entrega se calcula con la fórmula $P = V \times I$.

- **Factor de forma (Fill Factor):** es la asociación que existe entre en la potencia máxima (el producto del voltaje y corriente donde la potencia es máxima) y el producto de la corriente de cortocircuito y la tensión de circuito abierto. El valor del factor de forma puede ser más elevado dependiendo de la calidad de la célula solar. Cuando el factor de forma es bajo, significa que el equipo no tiene suficiente eficiencia y que hay presencia elevada de pérdidas. Por otro lado, su el factor de forma es elevado, por ejemplo, de 0.70 en adelante, quiere decir que el panel es de buena calidad.

- **Eficiencia:** Ésta es expresada como porcentaje. Es el cociente entre la potencia de salida del equipo sobre la potencia de la radiación que recibe. (SunFields, 2017)

3.4 Panel Solar

Los paneles solares, también conocidos módulos fotovoltaicos, están compuestos por un conjunto de células solares que se encuentran conectadas eléctricamente, encapsuladas y montadas en un marco.

Los paneles ofrecen corrientes y voltajes continuos, por lo que sus diseños presentan niveles fijos de tensión (6 V, 12V, 24V...) en el cual van a trabajar. Su constitución puede presentar varias características, pero las más comunes son los siguientes:

- **Soporte:** es el encargado de ofrecer una rigidez oportuna a la estructura y con vistas a la instalación del módulo.

- **Cables de conexión:** son los conductores que transmitirán la energía generada a la carga y se encuentran generalmente en una caja situada en la parte de atrás del panel.

- **Marco:** su función es permitir que la instalación se pueda realizar en un determinado soporte.

- **Vidrio:** recubre el panel protegiendo las células solares de los fenómenos atmosféricos.

- **Encapsulado:** cubre a todo el modulo para protegerlo de la intemperie (humedad, rayos ultravioletas, etc.) y a las células junto a las conexiones de vibraciones que se puedan presentar.

- **Forma de conexión:** los paneles son fáciles de instalar. Las células que lo componen se conectan entre si ya sea en serio o en paralelo. (Díaz & Rubio, 2010)

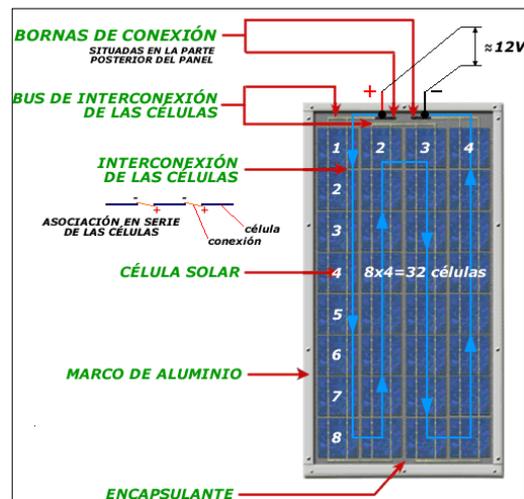


Figura 3.8 Estructura panel fotovoltaico
Fuente: Universidad de Jaén, 2015

3.5 Regulador de carga

Los sistemas fotovoltaicos requieren un regulador de carga en su instalación (ubicado entre los paneles y el acumulador) para poder trabajar correctamente. El regulador tiene el objetivo de eludir situación de carga y sobredescarga de la batería y así evitar que se acorte su vida útil.

Este equipo trabaja para la parte de la carga porque garantiza que exista la carga suficiente para el acumulador y que si no haya riesgo de sobrecarga. Y trabaja para la parte de descarga puesto que se encargará de que se entregue la demanda eléctrica suficiente para lo que se requiera y que no exista una descarga excesiva de la batería.

Cuando se realizan los cálculos para la instalación de un sistema solar fotovoltaico, se toma en cuenta el peor escenario posible referente a la luminosidad del sol, con el fin de asegurar que siempre se tenga el suministro de energía deseado.

Esta situación puede provocar una sobrecarga en los días que los rayos del sol tengan una gran intensidad, ya que sabemos que la corriente generada por el panel depende de la irradiación y es por esto por lo que se coloca el regulador entre el panel y las baterías para protegerlos de excesos de corrientes. Cuando vayamos a realizar una instalación hay que escoger correctamente el regulador de carga, por ello hay que tomar en cuenta varios aspectos que son facilitados por los fabricantes, como, por ejemplo:

- Peso.
- Dimensiones.
- Materiales de los que está hecho.
- Parámetros eléctricos.
- Conexión (serie o paralelo)
- la batería que puede ser conectada a la salida del equipo.
- Protecciones.
- Normas de seguridad,
- Temperatura cuando se encuentra trabajando, entre otros.

Algo muy importante que se debe tomar en cuenta, es que este equipo debe cuidar de cualquier riesgo a la instalación y a las personas que van a trabajar con él y así tener un sistema eficiente y seguro. (Díaz & Rubio, 2010)

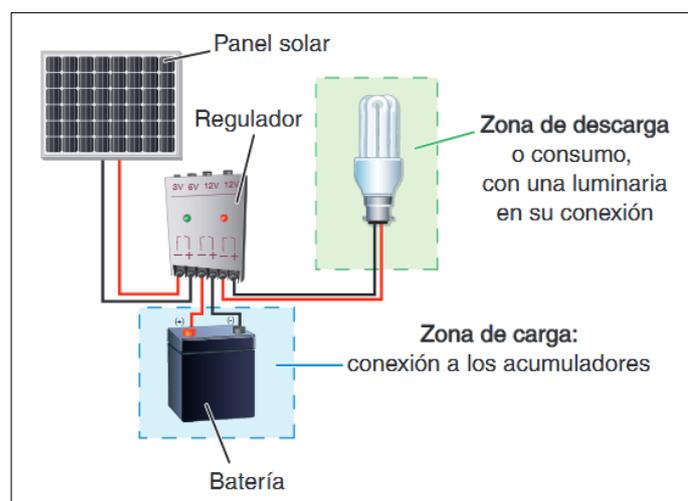


Figura 3.9 Conexiones del regulador
Fuente: Díaz & Rubio, 2010

Tabla 3.2 Posibles clasificaciones de los tipos de reguladores

	Tipo de regulador
Según tecnología del interruptor	<ul style="list-style-type: none"> - Relé electromecánico. - Estado sólido (MOSFET, IGBT...).
Según estrategia de desconexión del consumo	<ul style="list-style-type: none"> - Por tensión. - Por algoritmos de cálculo del estado de carga. - Por otros algoritmos de gestión de la energía.
Según posición del interruptor de control de generación	<ul style="list-style-type: none"> - Serie. - Paralelo.

Fuente: Díaz & Rubio, 2010

3.6 Acumulador

Hay varias situaciones que provocan un distinto modo de llegada de energía a las instalaciones solares, ciertas se pueden predecir, como las estaciones del año y cuánto tiempo duran las noches en la zona donde esté ubicado el proyecto.

Asimismo, hay otras que pueden afectar el sistema de un momento a otro, como una gran cantidad de nubes.

Por esta razón se emplea un sistema acumulador o batería, para almacenar energía para usarla en los momentos críticos donde la irradiación sea baja o nula para poder entregar el suministro deseado. La característica principal de las baterías es que son capaces de transformar la energía eléctrica generada en energía química para almacenarla y luego volver a hacerla energía eléctrica para su consumo. Además de esto tienen 3 tareas que cumplir:

- Almacenar la energía durante un tiempo determinado.
- Proporcionar al sistema una potencia instantánea elevada.
- Determinar la tensión en la cual va a trabajar la instalación.

Las baterías tienen parámetros importantes al igual que los otros componentes de las instalaciones solares, pero uno de los más importantes al momento de elegirla, es su capacidad.

Con esto se refiere a la cantidad de corriente que puede entregarse en una descarga completa de la batería o acumulador partiendo de que haya estado cargado totalmente.

La capacidad del equipo está dada en amperios hora (Ah) y se obtiene multiplicando la intensidad de descarga por el tiempo en el cual está trabajando ($C = I \cdot t$). Los otros parámetros que se deben tomar en cuenta son:

- **La eficiencia de carga:** Es la relación entre la energía que se usa para recargar la batería sobre la energía real que se almacena. Se expresa en porcentaje y siempre se busca que sea un valor cercano al 100%.

- **Autodescarga:** Es un proceso en el cual la batería tiende a descargarse sin necesidad de estar trabajando.

- **Profundidad de descarga:** Es la energía representada en porcentaje obtenida de la descarga de la batería luego de haber estado cargada totalmente. Está relacionada con la vida útil del equipo. Con este concepto se conocen los ciclos (de carga y descarga) que se pueden obtener de la batería. (Díaz & Rubio, 2010)

Tabla 3.3 Características de los principales tipos de baterías

Tipo de batería	Tensión por vaso (V)	Tiempo de recarga	Autodescarga por mes	N° de ciclos	Capacidad (por tamaño)	Precio
Plomo-ácido	2	8-16 horas	< 5%	Medio	30-50 Wh/kg	Bajo

Níquel-cadmio	1.2	1 hora	20%	Elevado	58-80 Wh/kg	Medio
Níquel-metal hydride	1.2	2-4 horas	20%	Medio	60-120 Wh/kg	Medio
Ión litio	3.6	2-4 horas	6%	Medio-bajo	110-160 Wh/kg	Alto

Fuente: Díaz & Rubio, 2010

Tabla 3.4 Baterías utilizadas en instalaciones solares

Tipo	Ventajas	Inconvenientes	Aspecto
Tubular estacionaria	<ul style="list-style-type: none"> -Ciclado profundo -Tiempos de vida largos -Reserva de sedimentos 	<ul style="list-style-type: none"> -Precio elevado -Disponibilidad escasa en determinados lugares 	
Arranque (SLI, automóvil)	<ul style="list-style-type: none"> -Precio -Disponibilidad 	<ul style="list-style-type: none"> -Mal funcionamiento ante ciclado profundo y bajas corrientes. -Tiempo de vida corto -Escasa reserva de electrolito 	
Solar	<ul style="list-style-type: none"> -Fabricación similar a SLI -Amplia reserva de electrolito -Buen funcionamiento en ciclados medios 	<ul style="list-style-type: none"> -tiempos de vida medios -No recomendada para ciclados profundos y prolongados 	
Gel	<ul style="list-style-type: none"> -Escaso mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> -Deterioro rápido en condiciones de funcionamiento extremas de V-I 	

Fuente: Díaz & Rubio, 2010

3.7 Inversor

El inversor es el encargado de transformar la corriente continua generada por el panel solar a corriente alterna, esta corriente posee las mismas características a la que se encuentra en la red eléctrica. Voltaje de 120-240 voltios y frecuencia de 60 Hertz. Este equipo debe estar obligatoriamente presente en nuestra instalación fotovoltaica ya que todo lo que vamos a energizar necesita un suministro de energía en AC. En ocasiones se suele utilizar inversores para realizar la función del regulador, de ser así, no necesitaríamos instalar el regulador en el sistema y solo necesitaríamos el inversor.

Como se ha hecho hasta ahora, se mencionarán las propiedades más importantes que se debe tomar en cuenta en el inversor DC-AC que va a formar parte del sistema ya que es una pieza fundamental para alimentar las luminarias puesto que todas funcionan con energía en AC y para tener un correcto funcionamiento se les debe proporcionar una energía que presente una onda lo más parecida a la de la red eléctrica convencional.

- **Alta eficiencia:** Su funcionamiento debe ser adecuado para diferentes potencias.
- **Bajo consumo en vacío:** Es decir, bajo consumo cuando no tiene ninguna carga conectada.
- **Alta fiabilidad:** Que pueda resistir picos de arranque.
- Protección contra cortocircuitos.
- Seguridad.
- Buena regulación de la tensión y frecuencia de salida: Debe proporcionar el voltaje y frecuencia que requieren los equipos que se va a alimentar. (Díaz & Rubio, 2010)

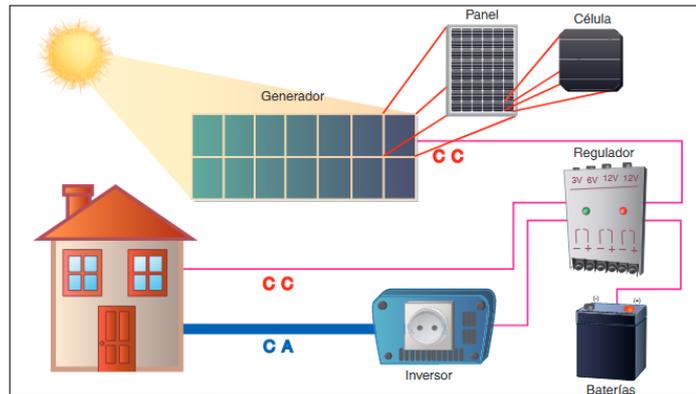


Figura 3.10 Esquema general de una instalación con inversor
Fuente: Díaz & Rubio, 2010

3.8 Impacto ambiental

Analizando los sistemas fotovoltaicos desde el punto de vista ambiental, se sabe que estos generan mucho menos CO₂ que otras fuentes de generación de energía que se han usado mayormente en el mundo como las que necesitan petróleo, carbón, etc. (Molina, Jiménez, Palomares, & Valenzuela, 2017)

El diario el Telégrafo redactó (El Telégrafo, 2016): “En Guayaquil se generó anualmente 36,8 toneladas de CO₂ hasta el 2016. Del total de emisiones de CO₂ en la urbe, el 39% proviene del transporte (principalmente por el consumo de gasolina y GLP), 25% de residuos (disposición de desechos), 16% de zonas residenciales (consumo de energía eléctrica y GLP), 14% del sector industrial (por uso de electricidad y diésel) y 6% del comercial e institucional.”

Con estos datos se puede caer en cuenta que la mayor parte de la contaminación está dada por los medios de transporte y las zonas residenciales sobrepasando al sector industrial.

Es por esto la importancia de que se aporte al cuidado del medio ambiente generando electricidad con fuentes de energía limpia. La más sencilla de instalar y que se la puede colocar casi en cualquier lugar abierto o construcción es la solar fotovoltaica.

El impacto ambiental de la energía solar fotovoltaica es ecológicamente asumible, siempre y cuando se realice un adecuado tratamiento o almacenaje de residuos y una correcta gestión del resto de los impactos ambientales de los que se hablará más adelante.

El principal factor contaminante es el requerimiento de grandes áreas para instalar los paneles, lo que también significa que se necesite una cantidad considerable de materiales (aluminio, vidrio, acero, etc.) para construirlos, motivo por el cual se están realizando estudios para reemplazar estos componentes por otro tipo de materiales favorables.

El gran espacio que necesitan estas instalaciones para generar una gran potencia es uno de sus contras que más se mencionan, también se incluyen las subestaciones, equipos de almacenamiento, entre otras cosas. La contraparte es que se pueden usar los paneles como parte de las fachadas y techos de viviendas y edificios, hasta contribuye a la estética del lugar.

Se debe tomar en cuenta que para la fabricación de las células solares y de los paneles en general, requieren de las energías convencionales, por lo que se generan emisiones de CO₂ y residuos de NO_x y SO₂. Sin embargo, esta contaminación es pequeña si comparamos a la reducción de emisiones contaminantes que proporcionarán los sistemas solares cuando estén instalados y produciendo energía limpia.

Los daños al ambiente por parte de las fuentes de energía convencionales incluyen daños a los bosques por lluvia ácida, contaminación y calentamiento del planeta por efecto invernadero, el impacto sobre la salud humana, animal y vegetal debido a accidentes nucleares o vertidos y escapes de sustancias peligrosas etc. Todo lo mencionado tiene un grado mucho más elevado que el de las energías renovables y justifica su acoplamiento y de ser posible, dominio en la generación de energía alrededor del mundo. (Ecologistas en Acción, 2007)

3.9 Sistemas fotovoltaicos en el Ecuador

Este país tiene una ubicación geográfica privilegiada por varios motivos, pero el que nos importa, es que se encuentra recibiendo prácticamente de manera perpendicular la radiación del sol y la variación de esta es casi nula a lo largo del año.

En la actualidad se consiguen con facilidad y los precios cada vez son más bajos. Hay nuevas alternativas de edificios y casas amigables con el medio ambiente que generan la demanda energética que requieren total o parcialmente gracias a la incorporación de paneles fotovoltaicos. (Rodríguez & Arroyo, 2016)

Una de las causas que detienen el desarrollo de esta alternativa limpia es que toda la energía es generada únicamente por el Estado. Se debería tomar en cuenta que casas, granjas o edificios se equipen con paneles fotovoltaicos y aporten al (SNI).

Según la Organización Latinoamericana de Energía (Olade) en Ecuador se ha visto la iniciativa de implementar sistemas fotovoltaicos aislados en zonas rurales como consecuencia de Fondo de Electrificación Urbano Marginal (Ferum) y que ha sido pionero en el desarrollo de proyectos de microrredes de sistemas fotovoltaicos aislados. (El Universo, 2017)



Figura 3.11 Paneles solares proveen luz en la isla Santay
Fuente: El Universo, 2017

CAPÍTULO 4: ILUMINACION ARTIFICIAL

Richard Forster (2001) afirma: “Una lámpara es un convertidor de energía. Aunque pueda realizar funciones secundarias, su principal propósito es la transformación de energía eléctrica en radiación electromagnética visible. Hay muchas maneras de crear luz, pero el método normalmente utilizado en la iluminación general es la conversión de energía eléctrica en luz.” (p.1)

Tabla 4.1 Consumo total de electricidad del sector de la iluminación

Consumo total de electricidad del sector de la iluminación	
Aplicación	Porcentaje (%)
Iluminación	22 %
Agua caliente	4 %
Ventilación	11 %
Refrigeración	7 %
Calefacción	29 %
Equipos informáticos	13 %
Congelador	3 %
Cocina	1 %
Otros	10 %

Fuente: FENERCOM, 2015

4.1 Fundamentos

4.1.1 Luz y calor

La luz no es otra cosa que energía electromagnética que puede ser captada por el ojo humano siempre que su longitud de onda se encuentre en el rango entre 0.38 y 0.78 μm (micrómetros). Generalmente las fuentes de luz son materiales o superficies que se encuentran elevadas temperaturas como, por ejemplo: El sol que tiene una temperatura de 5500°K o las luminarias incandescentes cuyo filamento llega a 3300°K.

El ojo humano puede percibir las longitudes de onda que se encuentre dentro del espectro luminoso, el cual es el rango de colores del rojo al violeta. Los colores violeta-azul corresponden a longitudes de onda de aproximadamente 0.4 μm mientras que los colores rojo-naranja corresponden a longitudes mayores alrededor de 0.7 μm . el tono de color de

una luz puede ser determinado por la temperatura de color que esta gaga en grados Kelvin donde los colores cálidos tienen temperatura baja y los colores azules temperaturas elevadas. (Monrroy, 2006)

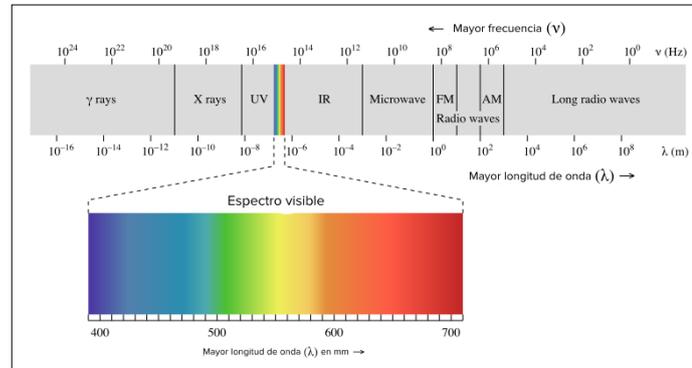


Figura 4.1 Espectro electromagnético
Fuente: ChemWiki de UC Davis, 2015

Tabla 4.2 Capacidad del ojo ante las variaciones del nivel de iluminación

Ambiente típico	Exterior de día	Interior de día	Interior de noche	Exterior de noche
Diámetro de la pupila (mm)	1.5	2.5	4.5	8
Porcentaje del flujo de luz (%)	3	10	30	100

Fuente: Manuel Monrroy, 2006

4.1.2 Magnitudes de la luz

- Intensidad luminosa (I): Es la cantidad de energía que se emite en una sola dirección. La unidad de esta magnitud es la candela (cd).
- Flujo luminoso (ϕ): Es la cantidad de energía luminosa que emite una fuente. La unidad de esta magnitud es el lumen (lm).
- Iluminancia o nivel de iluminación (E): Mide la cantidad de luz que un área o superficie recibe. La unidad de esta magnitud es el lux (lx). Se obtiene a partir de flujo luminoso por cada unidad de superficie.

- Luminancia o brillo (L): Mide la intensidad o flujo luminoso que emite una unidad de superficie. Las unidades de esta magnitud son el Stilb (cd/cm^2) y el Lambert (lm/cm^2).
- Rendimiento luminoso (R): Indica el flujo que emiten las fuentes luminosas por unidad de potencia. Está dado en lumen por unidad de potencia en watts (lm/W). (Monrroy, 2006)

Tabla 4.3 Tabla de niveles de iluminación (lux)

Lux	Ambiente	Actividad cómoda
100000	Mediodía pleno sol	Umbral máximo, empieza el dolor por exceso de luz
30000	Día semicubierto	Circulación exterior diurna, paseo
10000	Día cubierto	Actividad excepcional (quirófanos)
3000	Zonas de transición	Actividad muy detallada, iluminación puntual
1000	Interior luminoso	Actividad detallada (cocina, aseo) iluminación zonal
300	Interior medio	Estancia, actividad media, iluminación general diurna
100	Interior bajo	Reposo, actividad baja. Iluminación generar nocturna
30	Calle iluminación alta	Circulación interior, calle de noche con mucho tráfico
10	Calle media	Calle con tráfico medio, densidad urbana media
3	Calle baja	Calle con tráfico bajo, densidad urbana baja
1	Calle mínima	Aparcamiento o muelles, sólo orientación
0,1	Luz de luna	Necesita período de adaptación para orientarse

Fuente: Manuel Monrroy, 2006

4.1.3 Leyes de la luz

Las magnitudes expuestas anteriormente se pueden combinar en operaciones matemáticas entre sí para obtener otros conceptos que siempre se van a cumplir.

- Flujo luminoso ϕ de una fuente: Es el resultado del producto entre la potencia por el rendimiento luminoso. ($\phi = P \times R$)
- Intensidad luminosa I: Si una fuente emite luz con la misma intensidad en todas las direcciones significa que distribuye su flujo en el ángulo sólido ω de una esfera: 4π sr. Entonces la intensidad será el resultado de dividir el flujo para el ángulo sólido. ($I = \phi / \omega$)
- Iluminancia E de una superficie: Si se tiene una superficie a una distancia "d" y recibe luz con un ángulo de incidencia " ϕ ", entonces el nivel de iluminación en esa superficie es $E = I \cos \phi / d^2$.
- Luminancia L de una superficie: la cantidad de luz o el brillo de un material varía dependiendo del caso. Hay una fórmula de este concepto que se usa para fuentes luminosas ($L_f = I / S$) y otra para superficies iluminadas ($L_r = E \times r$) donde r es el coeficiente de reflexión. (Monrroy, 2006)

4.1.4 Propiedades de los materiales

Las superficies de objetos dependiendo del material del cual estén hechos se comportan de manera particular al recibir luz. Como en el caso de los materiales con superficies opacas que absorben la luz y la reflejan.

Los materiales traslúcidos actúan como los opacos, pero además transmiten la luz. Se denominan absorptancia (α), reflectancia (r) y transmitancia (τ) a la propiedad que caracteriza la forma en la que actúan los materiales mencionados, donde la suma de esos tres coeficientes del flujo de luz que incide en ellos debe ser igual a la unidad. Existen materiales con

superficies especulares que reflejan la luz en la misma dirección o con superficies difusas que dispersan la luz en varias direcciones. (Monrroy, 2006)

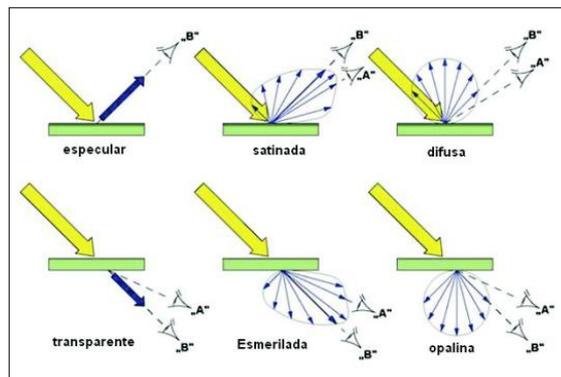


Figura 4.2 Propiedades luminosas superficiales
Fuente: Manuel Monrroy, 2006

4.2 Tipos de luz

4.2.1 Incandescencia

El fenómeno que ocurre en elementos sólidos y líquidos, cuando se calientan a temperaturas mayores a 1000°K y producen una radiación visible, se conoce como incandescencia.

Las luminarias que poseen filamentos de tungsteno en su composición basan su funcionamiento en este principio para generar luz. (Farrás, 2001)

4.2.2 Descarga eléctrica

Esta técnica es usada en luminarias que se usaran en el comercio y la industria, esto se debe a que la generación de luz goza de una mayor eficacia.

Existen lámparas que combinan los principios de la descarga eléctrica con los de la fotoluminiscencia.

La corriente va a circular en este caso a través de un gas, excitando a los átomos y moléculas emitiendo radiación. Por lo general, los más usados son el sodio y el mercurio ya que sus propiedades proporcionan radiaciones

útiles en el espectro visible. Por lo general se clasifican en dos grupos, de alta presión y de baja presión. (Farrás, 2001)

Tabla 4.4 Grupos de apariencia de color de lámparas

Apariencia de color	Temperatura de color correlacionada, T_cK
Cálida	Inferior a 3300 K
Intermedia	3300 a 5300 K
Fría	Superior a 5300 K

Fuente: FENERCOM, 2015

4.3 Principales tipos de lámparas

4.3.1 Lámparas incandescentes

Coso me mencionó anteriormente, este tipo de lámparas tienen un filamento de tungsteno. El filamento se encuentra dentro de la esfera de vidrio (al vacío o con gas) para evitar que se evapore el tungsteno y se ennegrezca el vidrio que lo contiene.

El principio de funcionamiento de basa en el aumento de la temperatura del filamento hasta un nivel superior a los 3000 grados kelvin.

Existen bombillas incandescentes de muchas formas, pueden ser muy buenas para decoración. Por otro lado, sus niveles de eficiencia son bajos por lo que en industrias y comercios se inclinan más por lámparas de descarga eléctrica. (Farrás, 2001)

4.3.2 Lámparas halógenas de tungsteno

Las lámparas halógenas tienen un gran parecido a las bombillas incandescentes y su principio de funcionamiento es el mismo (filamento de tungsteno). La característica diferente es que la esfera de cuarzo contiene gas de bromo o yodo (halógeno) regulando que se evapore el tungsteno.

El ciclo halógeno requiere que la bombilla se encuentre como mínimo a 250°C para que el haluro de tungsteno siga estando en estado gaseoso. Esta temperatura es la causante de que la bombilla esté fabricada de cuarzo y no de vidrio como las incandescentes, además permitiendo que se pueda reducir el tamaño de las luminarias.

Tienen un tiempo de vida útil mayor al de sus equivalentes incandescentes, llegan a temperaturas más elevadas, produciendo más luz y con un color más blanco. Se las usa en situaciones donde se tenga un espacio reducido y se requiera un gran rendimiento como por ejemplo la iluminación de escenarios, cine y tv.

En esta clasificación también hay lámparas halógenas de tungsteno de baja tensión, las cuales se diseñaron para proyectores de películas o diapositivas. Trabajan a 12 V y se pueden enfocar con mayor eficacia. Poseen un filamento más robusto, permitiendo que trabaje a temperaturas más altas. (Farrás, 2001)

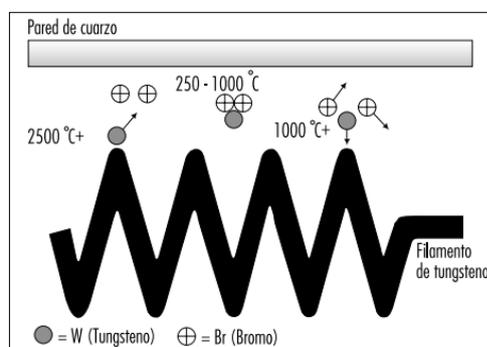


Figura 4.3 El ciclo halógeno
Fuente: Farrás, 2001

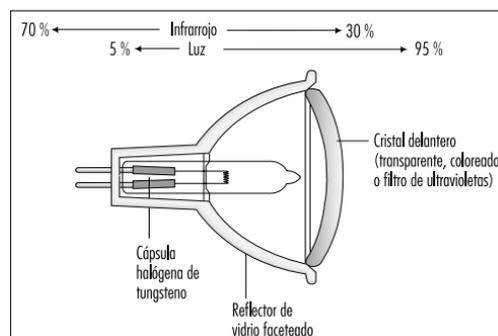


Figura 4.4 Lámpara reflectora dicróica de baja tensión
Fuente: Farrás, 2001

4.3.2 Lámparas fluorescentes tubulares y de tamaño reducido

Las lámparas fluorescentes tubulares son de mercurio de baja presión, a las cuales se las puede encontrar de “cátodo caliente” y “cátodo frío”. El primer tipo es el tubo fluorescente típico en las fábricas y oficinas, corresponde a las lámparas que precalientan los electrodos para que la ionización del gas y del vapor de mercurio sea la necesaria para que logre efectuar la descarga.

El segundo tipo es el tubo fluorescente comúnmente usado en letreros y anuncios publicitarios. Estas luminarias requieren un equipo de control que regule su corriente y tienen gas de argón o criptón además del gas de mercurio.

La radiación que se genera por el mercurio es de color azul pálido y permanece en la región ultravioleta, entonces se encuentra una cubierta fosfórica interna del tubo que absorbe esa radiación ultravioleta e irradia luz visible. Hay una gran variedad del material fosfórico para el recubrimiento interno del tubo que brinda distintas características de reproducción de color. Existen también lámparas fluorescentes de tamaño reducido que pueden ser del tamaño de una bombilla incandescente. Para esto necesariamente deben utilizar un material trifosfórico, no pueden variar de qué material fosfórico será su recubrimiento interno como los tubos normales debido a que la carga eléctrica será mayor. (Farrás, 2001)

En la Figura 23 podemos observar el principio de funcionamiento de las luminarias de tipo fluorescente, las cuales están presentes en la mitad de nuestros salones de clases. Mientras que en la Figura 24 se presentan las características más importantes de las fluorescentes de tamaño reducido.

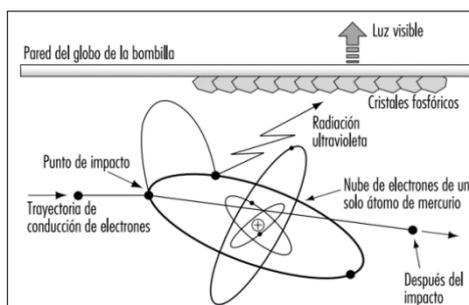


Figura 4.5 Principio de lámpara fluorescente
Fuente: Farrás, 2001

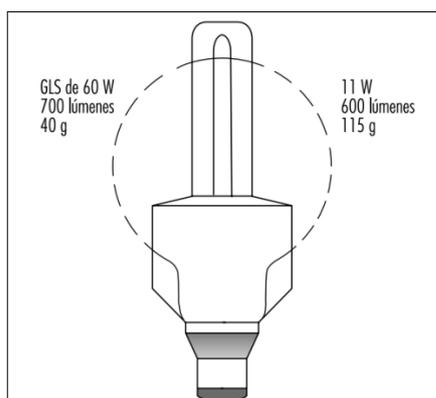


Figura 4.6 Fluorescente de tamaño reducido
Fuente: Farrás, 2001

4.3.3 Lámparas de inducción

Hay una variante de luminarias que usan el principio de inducción en su funcionamiento. Son bombillas de mercurio de baja presión que emplean la cubierta interna del material trifosfórico al igual que las fluorescentes con una generación de luz muy parecida.

Necesitan recibir energía mediante radiación de alta frecuencia (2.5 MHz), la cual es transmitida por una antena que se encuentra en el centro de la lámpara. No constan de electrodos y la bobina no se encuentra conectada físicamente con la bombilla. (Farrás, 2001)

4.3.4 Lámparas de mercurio de alta presión

Son bombillas de mercurio con descargas de alta presión permitiéndoles tener mayor carga eléctrica y ser más compactas. Por el hecho de tener que soportar estas temperaturas y presión, están

compuestos con tubos de descargas de arco fabricados de cuarzo. El tubo de cuarzo va dentro del bombillo de vidrio que tiene una atmosfera de nitrógeno para que se reduzca la oxidación.

Estas luminarias tienden a sufrir para lograr a su máximo rendimiento. Tienen una gran vida útil, de aproximadamente 20,000 horas, pero su rendimiento lumínico disminuye en cuando se cumplen alrededor de un 55% de sus horas. (Farrás, 2001)

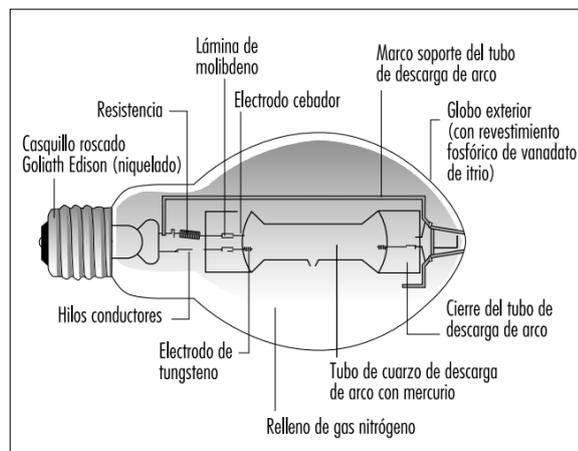


Figura 4.7 Componentes de una lámpara de mercurio
Fuente: Farrás, 2001

4.3.5 Lámparas de haluro metálico

Las lámparas de descarga de mercurio pueden ser mejoradas tanto en su color como en su rendimiento lumínico mediante la adición de varios metales al arco de mercurio. Estos metales son incluidos en la bombilla estando en polvo, en forma de haluros, liberándose cuando la lámpara aumenta su temperatura. Cada metal que se utilice en las lámparas de haluro metálico irradia un color característico específico, los más comunes son los que se citan en la siguiente tabla. (Farrás, 2001)

Tabla 4.5 Colores de metales usados en lámparas de haluro metálico

Metal	Color
Disproseo	Verde-Azul de banda ancha
Indio	Azul de banda estrecha
Litio	Rojo de banda estrecha
Escandio	Verde-Azul de banda ancha

Sodio	Amarillo de banda estrecha
Talio	Verde de banda estrecha
Estaño	Rojo-Naranja de banda ancha

Fuente: Farrás, 2001

4.3.6 Lámparas de sodio de baja y alta presión

Las lámparas de sodio de baja presión presentan un tubo de descarga de arco muy parecido en tamaño al de las lámparas fluorescentes, pero se diferencia por estar hecho de un vidrio adaptado para resistir el sodio. Su forma es de “U” estrecha y se encuentra recubierto con una envoltura al vacío. Estas luminarias son una de las más eficaces que existen, proporciona 200 lúmenes/watt. Se diferencian porque las de sodio tienen una mayor eficiencia, llegando a más de 100 lúmenes/watt y flujo luminoso constante. El tubo de descarga de arco en estas lámparas no se puede hacer de cuarzo ni de vidrio, se emplea alúmina policristalina translúcida debido al sodio. (Farrás, 2001)

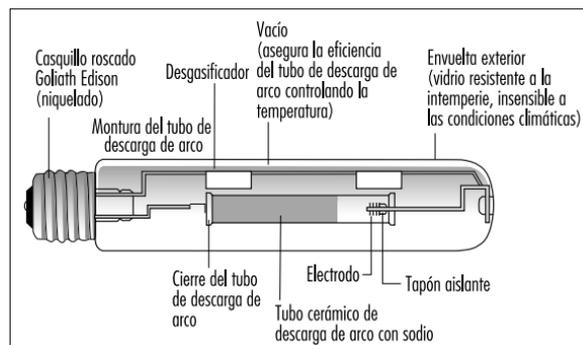


Figura 4.8 Lámpara de sodio de alta presión

Fuente: Farrás, 2001

Tabla 4.6 Rendimientos típicos de las lámparas

Eficiencia de lámparas	
Lámpara de filamento de 100W	14 lúmenes / vatio
Tubo fluorescente de 58W	89 lúmenes / vatio
Lámpara de sodio de alta presión de 400W	125 lúmenes / vatio
Lámpara de sodio de alta presión de 131W	198 lúmenes / vatio

Fuente: Farrás, 2001

CAPÍTULO 5: ILUMINACIÓN LED

5.1 La tecnología LED

5.1.1 Conocimientos básicos de los LED

LED viene del inglés “Light Emitting Diode”, que significa en nuestro idioma “Diodo Emisor de Luz). Este dispositivo al ser polarizado y por ende atravesado por corriente eléctrica, emite luz. Es un semiconductor con sus terminales positivo y negativo (ánodo y cátodo) que al energizarse posee la propiedad de electroluminiscencia, que consiste en convertir electricidad en luz visible.

A diferencia de otras tecnologías de iluminación, no necesitan filamentos, gases, ni la bombilla de vidrio o cuarzo que los recubre. Esta tecnología fue inventada en 1956 pero recién se empezó a implementar en la industria en la década del 70. Su uso no se dio en gran cantidad ya que en esos días aún no era eficaz como se lo ha conseguido en la actualidad.

Su uso se daba en electrodomésticos, automóviles y en los dispositivos electrónicos para videojuegos. Los diodos emisores de luz están compuestos de varias láminas de material semiconductor, pero de igual manera requieren un tamaño muy pequeño, hasta de unos cuantos milímetros y proporcionando una eficiencia igual o hasta mayor que la ofrecida por las luminarias tradicionales. Su funcionamiento consta en que cuando se lo dota con voltaje (muchos trabajan con corriente continua) en el sentido del conductor lo que provoca una elevada corriente, éste emite luz en su “capa activa” la cual se puede concentrar o dispersar empleando lentes o difusores.

La luz que producen los LEDs es prácticamente monocromática (que está compuesta de un solo color) y dependerá de los materiales que se utilicen en su composición química, pueden producir luz en todos los colores del espectro luminoso del azul al rojo.

El nivel de luz que puede alcanzar a producir un LED depende de su temperatura, color y diseño. Su vida útil no se acaba por completo como sucede en las luminarias convencionales, sino que su flujo luminoso va reduciéndose poco a poco hasta llegar al 50% de su valor inicial que es cuando se considera el final de su vida. (Anfalum, 2015)

Estos dispositivos presentan varias características como:

- La eficacia luminosa que se encuentra en aproximadamente 100 lm/W pero se espera poder llegar a los 230 lm/W en los próximos años.
- Presentan una eficacia de color elevada en los colores amarillo, rojo, naranja, verde, azul y blanco.
- Tienen una buena reproducción cromática que es la capacidad de una luminaria para reproducir algún color lo más exacto posible.
- Su vida útil se encuentra en el rango de 50,000 a 100,000 horas lo que implica que es un sistema confiable.
- Son dispositivos compactos, proporcionando resistencia a impactos y vibraciones, siendo útiles, aunque el entorno presente condiciones mecánicas complicadas.
- No producen radiación ultravioleta y poca radiación infrarroja, es decir que emiten en su mayoría únicamente luz visible. (Anfalum, 2015)

Tabla 5.1 Características lámparas LED

Luminaria LED840 34W	
	Flujo LED840 34W = 2100 lm
	Rendimiento de la luminaria = 100%
	Flujo final = 2100 lm
	Potencia conjunto = 34 W
	Eficiencia = 62 lm/W

Fuente: FENERCOM, 2015

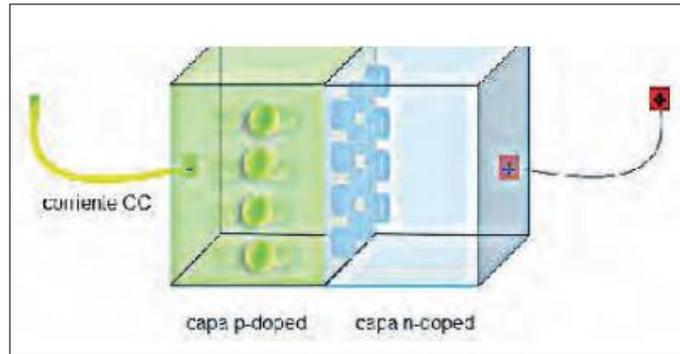


Figura 5.1 Chip sin tensión aplicada

Fuente: FENERCOM, 2015

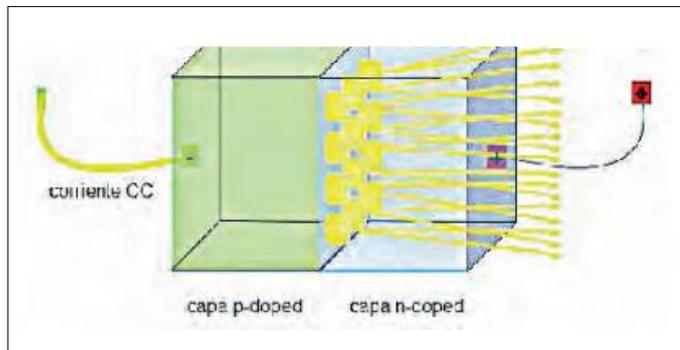


Figura 5.2 Chip con tensión aplicada

Fuente: FENERCOM, 2015

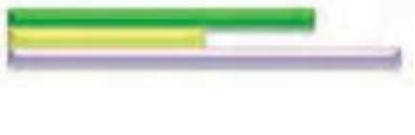
5.1.2 Ventajas de los sistemas de iluminación LED

Las ventajas que se mencionarán a continuación serán en comparación a las luminarias tradicionales:

- Su tamaño se puede reducir a milímetros, lo que le permite ser una muy buena opción para una gran variedad de aplicaciones.
- Son altamente resistentes a impactos, golpes y vibraciones, lo que las convierte en un sistema más seguro y confiable.
- Goza de una vida útil prolongada oscilando entre 50,000 y 100,000 horas de iluminación.
- Ofrece una reducción en el consumo eléctrico ya que las luminarias requieren un valor de potencia inferior.

- Son fuentes de luz prácticamente monocromáticas, es decir que tienen una muy buena eficiencia en emitir una gran gama de colores sin necesidad de requerir filtros o algún otro componente adicional.
- No deterioran los objetos o materiales que se encuentran expuestos a la luz de estas luminarias ya que no producen radiación ultravioleta ni infrarroja.
- No generan calor y son adecuadas para trabajar en bajas temperaturas de hasta -30°C.
- Tienen también un beneficio estético ofreciendo soluciones innovadoras de iluminación. Esto se debe a que tienen una amplia variedad de colores, tamaños pequeños y gran versatilidad.
- Rentabilidad económica al reducir el valor de la potencia instalada (consumen hasta 90% menos que luminarias halógenas y 80 % menos que fluorescentes) y costos de mantenimiento por su vida útil y resistencia ante entornos adversos.
- No contienen mercurio ni otra sustancia que pueda contaminar al medio ambiente. (Anfalum, 2015)

Tabla 5.2 Gráfico comparativo entre tecnologías de iluminación

LED	Fluorescentes	Incandescencia
Eficiencia		80 lm/W 50 lm/W 15 lm/W
Calidad de Luz		+++ + ++++
Vida útil		20000-40000 hrs 4000 hrs 1000 hrs
Solidez		++++ + +

Compatibilidad		+++ ++ ++++
Medio ambiente		++++ ++ +
Coste		15-20 \$ 4 \$ 1 \$

Fuente: FENERCOM, 2015

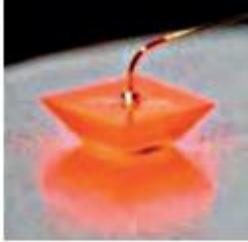
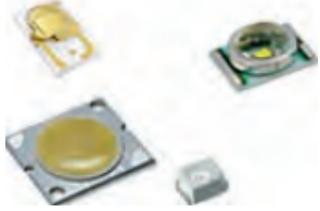
5.2 Sistemas de alumbrado LED

Es un sistema que implemente la tecnología LED para conseguir una luminaria que logre integrar de la mejor forma una fuente de luz LED con los demás componentes necesarios para un correcto funcionamiento, protección oportuna de todas sus partes, además que cuente con circuitos auxiliares y de una alimentación eléctrica adecuada.

Estos sistemas de alumbrado se componen por varios dispositivos como son las luminarias, la fuente de luz (pueden ser módulos LED, bombillas, tiras, entre otras), los drivers (equipo de alimentación) y los circuitos que deben estar que en conjunto forman la estructura que se instalará. Si no se diseña correctamente el sistema, se puede tener una iluminación ineficiente.

Los fabricantes deben proveer la información precisa, confiable y necesaria sobre todos los parámetros y características eléctricas, térmicas, luminotécnicas y de seguridad sobre sus productos que apliquen esta tecnología. Estos datos que proporciona el proveedor son de suma importancia para cualquier tipo de sistema de iluminación que se quiera diseñar e implementar para que trabaje de forma confiable y segura en todo momento. (Anfalum, 2015)

Tabla 5.3 Proceso de configuración del LED

Nivel	Nombre	Descripción	Imagen
Nivel 0	LED die	LED diodo semiconductor original	
Nivel 1	LED die in package	LED diodo encapsulado	
Nivel 2	LED Board	LED en circuito impreso	
Nivel 3	LED Module	LED en circuito impreso con interface. Puede incluir elementos adicionales, ópticas, disipador o controlador.	
Nivel 4	LED Lamp	LED en módulo incluido en lámpara bajo estándar IEC	

Fuente: FENERCOM, 2015

5.2.1 Tipos de LED

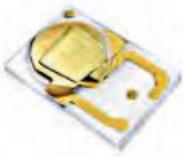
Como se ha expuesto anteriormente en este trabajo de investigación, hay varios tipos de fuente de iluminación. Usualmente se instalan lámparas incandescentes o lámpara halógenas, estas son las que vemos con más frecuencia, luego están las fluorescentes y las de inducción en menor escala.

Pero estos últimos años se ha estado desarrollando el principio de generación de luz artificial aplicando tecnología LED, es cierto que aún no

llega a su máximo nivel, pero en los próximos años apunta a que se sustituyan los sistemas convencionales por sistemas de iluminación LED. (Anfalum, 2015)

Se pueden resumir o agrupar los tipos de LED en tres grupos, cada uno cuenta con sus características particulares y sus aplicaciones específicas como se muestra en la tabla a continuación.

Tabla 5.4 Tipos de LED

LED de 3 mm y 5 mm	
	Señales publicitarias, indicadores, retroiluminación, (frigorífico, TV, etc.)
	Voltaje constante (conexión en paralelo).
LED SMD (Surface mount LED)	
	Zona inferior de armarios, pasos de peatones, luces decorativas.
	Voltaje constante 12/24 V (conexión en paralelo).
	Temperatura baja (sin reductor de calor).
LED de alta potencia (LED > 1 W)	
	Efectos de iluminación con lente, idóneos para una variedad de aplicaciones.
	Voltaje constante 350/700 mA (conexión en serie).
	Última tecnología disponible en el mercado.

Fuente: FENERCOM, 2015

5.2.2 Luminarias de alumbrado LED

Los sistemas de iluminación LED tienen varios componentes como se manifestó en el subcapítulo anterior, pero obviamente la más importante es la luminaria LED, la cual se puede clasificar en dos grupos: las que se instalan para iluminación interior y las instaladas para el alumbrado de exteriores. En la siguiente tabla se pueden observar los criterios de calidad que se deben tomar en cuenta en el momento de diseñar el sistema de iluminación y seleccionar las luminarias.

Tabla 5.5 Criterios de calidad

Criterios de calidad
1. Potencia nominal de la luminaria
2. Flujo luminoso nominal
3. Intensidad luminosa
4. Eficacia luminosa y rendimiento de la luminaria
5. Factor de utilización
6. Eficiencia energética de las instalaciones de alumbrado
7. Distribución de la intensidad luminosa
8. Código fotométrico
9. Vida nominal de la lámpara y módulo LED
10. Porcentaje de fallo de la lámpara y módulo LED
11. Temperatura ambiente entorno de la luminaria LED

Fuente: FENERCOM, 2015

Siempre se debe tener en cuenta que hay una condición de suma importancia al momento de realizar una instalación de una luminaria LED, esta es que si se va a modificar la instalación (colocar una lámpara LED de “conexión directa” en lugar de la lámpara actual convencional) o realizar una nueva instalación (cambiar todas las partes eléctricas, mecánicas y electrónicas existentes por todo un nuevo sistema LED).

Estas dos opciones pueden ser válidas tanto para luminarias de tipo exterior o interior. Para poder tener un sistema eficiente se debe tener un trabajo correcto del proyectista al momento de realizar el diseño, prestando mucha atención a los datos oportunos que el fabricante debe ofrecer y de igual manera del instalador al saber exactamente el trabajo que debe realizar. (Anfalum, 2015)



Figura 5.3 Luminaria para alumbrado exterior

Fuente: FENERCOM, 2015



Figura 5.4 Luminaria para alumbrado interior
Fuente: FENERCOM, 2015

5.2.3 Drivers y control de alumbrado

5.2.4 Fuente de alimentación o driver

Las luminarias de tipo LED no se pueden energizar de forma directa a partir de la red eléctrica convencional que recibimos en nuestros hogares, centro de estudio o lugar de trabajo.

Es necesario la inclusión de un dispositivo conocido como “driver” o fuente de alimentación que se encargue de adaptar la tensión a las necesidades de la luminaria LED (lo que también estabiliza el flujo luminoso y su temperatura) ya que necesitan un valor de voltaje bajo y constante porque tienen baja impedancia y son sensibles a alteraciones de corriente. No solamente regula el voltaje al requerido por el foco, sino que además realiza un trabajo de inversor ya que este tipo de luminarias trabaja con corriente continua y el suministro eléctrico que tenemos en nuestro país es de corriente alterna.

El voltaje de salida que proporcionará el driver dependerá de la cantidad de LED conectados al mismo. Los drivers pueden estar compuestos de varias etapas, esta característica indicará las prestaciones del equipo y otros parámetros como la eficiencia, el factor de potencia, entre otros.

Cuando se alimenta con corriente continua a un módulo LED, se hace la conexión intenta en serie formando ramas que luego se conectaran en paralelo. Cada LED tiene una corriente típica de funcionamiento, al

proporcionársela nos aseguramos de prolongar su vida útil y obtener el color y flujo luminoso deseado. Es importante realizar un diseño y montaje adecuado de las luminarias LED para poder tener un sistema confiable y eficiente que tenga una larga vida útil con pocos gastos de mantenimiento. (Anfalum, 2015)



Figura 5.5 Ejemplo de driver

Fuente: FENERCOM, 2015

5.2.5 Componentes del sistema de control

Hay diferentes equipos pertinentes para el control o gestión del alumbrado que serán descritos brevemente en este subtema.

- Equipos: Son las fuentes de alimentación como los transformadores y balastos electrónicos para las lámparas halógenas y fluorescentes respectivamente, en este caso son los drivers para las luminarias LED.
- Elementos de accionamiento: Son los elementos del sistema mediante los cuales el usuario puede encender, apagar o regular la luz manualmente. Estos pueden ser switches, pulsadores o paneles de control.
- Sensores o detectores: Estos dispositivos tienen la característica de poder detectar magnitudes físicas o químicas y emitir señales que puedan ser procesadas. Por ejemplo, podemos mencionar los detectores de presencia y fotocélulas.
- Controladores: Reciben y procesan información de los demás componentes del sistema de iluminación convirtiéndolos en comandos de control y distribuirlos de forma inteligente.

- Repetidores: Se usan para amplificar el nivel de potencia de las señales que llegan débiles cuando hay distancias grandes de cableado.
- Adaptadores: Son necesarios en el sistema de control cuando se tienen otros dispositivos que difieren en su protocolo de comunicación, convierten las diferentes señales de cada dispositivo para permitir la comunicación entre ellos. (Anfalum, 2015)

5.2.6 Control y regulación de la luz

Los sistemas de control de alumbrado tienen como fin la automatización de la gestión de la iluminación de alguna instalación para poder obtener la cantidad de luz que se requiera en el momento y lugar que se desee mediante sondas y actuadores que son los responsables de la toma de decisiones y conmutar y regular la iluminación respectivamente. Su funcionamiento implica regular la intensidad de la luz, así como del encendido y apagado. La instalación de estos dispositivos es sencilla y no tienen un valor adquisitivo elevado, además que puede aportar al ahorro por consumo energético.

Hay varios tipos de obtención de información (controladores):

- Sensores de luz ambiental
- Sensores de luz exterior
- Sensores de presencia
- Teclados para el ingreso de información para configurar el sistema según las preferencias del usuario.
- Reloj astronómico, para regular la cantidad de luz según las horas del día. (Anfalum, 2015)

5.2.7 Regulación 1-10 V

Existen varios métodos para controlar o regular el flujo luminoso de un sistema de iluminación, en este caso revisaremos el sistema 1-10 V que permite realizar la regulación entorno del 1 al 100% mediante señales

analógicas que recibe mediante dos conductores extras que se deben incluir en el cableado, siendo uno de polaridad positiva y el otro de polaridad negativa.

La señal que se recibe tiene una magnitud de voltaje continuo entre 1 y 10 voltios, en 1 V (cortocircuito en la entrada de control del equipo) se obtiene la cantidad de luz mínima y en 10 V (circuito abierto en la entrada de control del equipo) se obtiene el máximo nivel de luz. Las líneas de control no se encuentran relacionadas eléctricamente con las líneas de alimentación del sistema.

Estos equipos son unidireccionales, es decir que la información se transmite en un solo sentido partiendo del controlador hasta las luminarias sin existir una retroalimentación. Tienen una potencia de control fijada por ellos mismos, en los bornes de control se entrega una corriente al controlador con valores entre $10\mu\text{A}$ y 2mA . Se debe entender que con la máxima corriente que pasa por la línea de control se obtiene el voltaje de 1 y con la mínima el voltaje de 10. (Anfalum, 2015)

5.3 Aplicaciones

La iluminación mediante tecnología LED puede aplicarse en muchas áreas como son: salud y bienestar, museos y arte, tiendas y exposiciones, salones de clases (el apartado siguiente se basará en este tema por ser el más relevante para este estudio), hogares, oficinas, estudios musicales, entre otras. Adicionalmente para este trabajo de investigación se dividirán las aplicaciones en 8 ecosistemas diferentes en los cuales las luminarias LED pueden satisfacer de la mejor manera sus necesidades.

- Iluminación de ambientes: Comprende todo lugar en donde se encuentren peatones o personas pasando el tiempo por algún motivo específico o por distracción, como puede ser la avenida 9 de octubre de la ciudad de Guayaquil.

- Alumbrado urbano: Incluye calles, avenidas y vías públicas en general donde se desplazan los vehículos de un lugar a otro donde es de suma importancia tener una excelente iluminación.
- Túneles: Caminos subterráneos o a través de una montaña o cerro que se encuentran completamente cerrados exceptuando su entrada y su salida para vehículos y peatones, debe estar iluminado día y noche.
- Proyección: Técnicas de iluminación para iluminar espacios arquitectónicos, se ha legado a adquirir dotes artísticas que les da identidad y estimulan nuestras emociones y capacidad sensorial.
- Iluminación deportiva: Iluminar el interior y el exterior de los estadios o coliseos de cualquier deporte, aportando además a una buena calidad de iluminación para la transmisión en HD.
- Áreas de transito: Lugares interiores o exteriores en donde frecuentan personas que esperan algún medio de transporte como en paradas de buses, taxis y estaciones de otros medios de transporte como lametrovía en el caso de nuestra ciudad e incluso Universidad.
- Industrial: Dentro y fuera de las industrias, almacenes, fábricas donde se operen máquinas y se manipulen productos donde es primordial mantener una correcta gestión de calidad.
- Campus: Entornos que se encuentran delimitados para fines profesionales, privados, educativos donde se debe priorizar una iluminación óptima para dar comodidad a los estudiantes y docentes, de recreación, etc. Como centros comerciales, universidades, hospitales, etc. (Schreder, 2014)



Figura 5.6 Estadio iluminado con tecnología LED
Fuente: Schreder, 2014

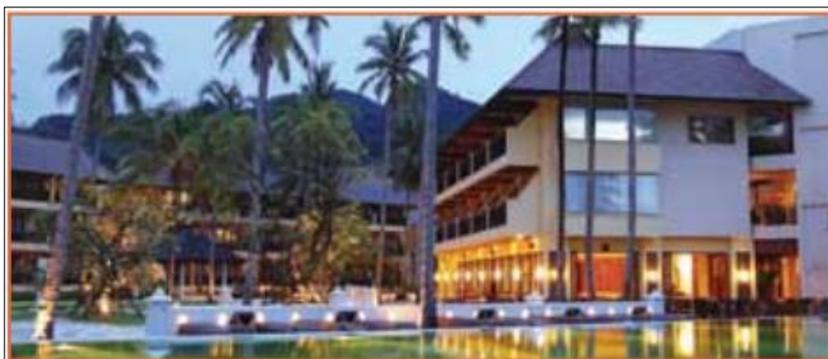


Figura 5.7 Campus iluminado con tecnología LED
Fuente: Schreder, 2014

5.4 Iluminación LED para centros de enseñanza

5.4.1 Introducción

Para poder garantizar la eficacia del estudio, el aprendizaje de los estudiantes y su salud es necesaria una iluminación óptima. La instalación de iluminación que se realicen en cualquier centro de enseñanza dependerá de la actividad que se realice en cada determinado lugar, según cada circunstancia debe ser capaz de ofrecer luz suficiente y un entorno visual confortable.

El confort visual que se debe conseguir beneficia a los estudiantes y a los profesores, llegando a ofrecer un ambiente de trabajo o estudio agradable y estimulante ya que no requerirán realizar esfuerzos visuales que son los causantes de cansancio innecesario y dolores de cabeza que incomodan y limitan el potencial de los estudiantes y profesores como ocurre con una iluminación ineficiente. Por lo general las instalaciones de los centros educativos presentan comúnmente problemas como:

- Presentan luminarias que generan deslumbramientos directos o indirectos como en los salones de clases de nuestra universidad que impide ver el pizarrón la mayoría del tiempo.
- Poseen fuentes de luz con la potencia incorrecta, ya sea está muy elevada o insuficiente que dificultan la visión a la pizarra y a los cuadernos para tomar apuntes.

La temperatura de luz de las luminarias que se instalen incide mucho en el desempeño de los estudiantes. Por ejemplo; una luz fría podría simular un ambiente parecido al del aire libre, evitando que muchos se incomoden por permanecer varias horas en un lugar cerrado y por otro lado, una luz cálida puede significar una sensación de ambientes sociables y relajados. Que la iluminación sea la indicada o no casi no se puede percibir, pero muchas veces llega a causar malestar y dificulta el aprendizaje. (Anfalum, 2015)

5.4.2 Niveles de iluminación

Para tener una iluminación adecuada en los establecimientos educativos hay que tomar en cuenta indispensablemente la existencia de un equilibrio de iluminación idóneo. Esto se debe a que si se exceden los límites entonces habrá deslumbramiento lo que ocasionará molestias visuales y perjudicando el bienestar de los estudiantes y profesores, por otro lado, si no se alcanza ni el nivel promedio de iluminación, se deberá realizar esfuerzo para la concentración por parte del alumnado y provocando fatiga.

Hay que mencionar que en este caso no solo hay que fijarse en la luz artificial, puesto que la luz natural también influye en ventanas o claraboyas que se encuentren en los salones de clases, ya que si nos encontramos en contra luz de la pizarra no podremos ver con claridad lo que se encuentra escrita en ella, lo que está proyectado en ella, ni al profesor. A continuación, se citarán tablas con datos recomendables de potencia, iluminancia, uniformidad y rendimiento de color para edificios y salones de clases. (Anfalum, 2015)

En la Tabla 20 se exponen valores de potencia por metro cuadrado referenciales para los diferentes recintos donde se tendrán sistemas de iluminación.

Tabla 5.6 Potencia máxima de iluminación

Uso del edificio	Potencia máxima instalada (W/m ²)
Administrativo	12
Aparcamiento	5
Comercial	15
Docente	15
Hospitalario	15
Restauración	18
Auditorios, teatros, cines	15
Residencial público	12
Otros	10
Edificios con nivel de iluminación superior a 600 lux	25

Fuente: FENERCOM, 2015

Tabla 5.7 Tabla de Establecimientos Educativos

Edificios Educativos				
Tipo de interior, tarea y actividad	E _m lux	UGR _L	R _a	Observaciones
Aulas, aulas de tutoría	300	19	80	La iluminación debería ser controlable
Aulas para clases nocturnas	500	19	80	La iluminación debería ser controlable
Salas de lectura	500	19	80	La iluminación debería ser controlable
Pizarra	500	19	80	Evitar reflexiones especulares
Aulas de prácticas y laboratorios	500	19	80	
Salas de profesores	300	19	80	

Fuente: Norma Europea sobre Iluminación para Interiores, 2002

5.4.3 Dirección de la luz y sombras

Es frecuente ver que los salones de clases de los diferentes centros de enseñanza se iluminan con luz natural, por este motivo es recomendable realizar un diseño de luminaria que se encuentre direccionado a favor de la luz natural. También que las bancas o escritorios se dispongan de tal manera que la dirección de la mirada de los estudiantes que se encuentran cerca de las ventanas sea paralela al frente principal de las mismas y paralelo al eje de las luminarias. (Anfalum, 2015)

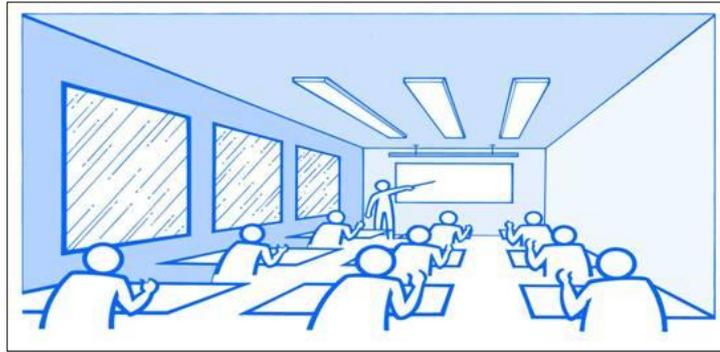


Figura 5.8 Requisitos del alumbrado de un aula
Fuente: Alexa Soto, 2016

5.4.4 Iluminación de la pizarra y salones con proyector

Aunque se utiliza cada vez más medios audiovisuales como proyectores de diapositivas para dictar clases, no se deja de lado la pizarra en los salones de los centros de enseñanza y debe poder ser vista desde todos y cada uno de los pupitres por lo que la iluminación es un factor que incide principalmente en ese hecho. Las luces LED carecen de emisiones infrarrojas y ultravioletas, lo que es una propiedad muy importante.

Se debe poder graduar la luz de los salones para cuando se vaya a utilizar el proyector y se puede apreciar todo el contenido de manera correcta y pudiendo ver además el cuaderno para tomar apuntes o los libros de estudio. Esta es una gran solución para el problema que tenemos actualmente al momento de tomar apuntes cuando el proyector está encendido y se apagan por completo las luces. (Anfalum, 2015)



Figura 5.9 Iluminación adecuada para salones de clases
Fuente: Tecnolite, 2015

PARTE II APORTACIONES

CAPÍTULO 6: ESTUDIO TÉCNICO

6.1 Levantamiento de luminarias actuales de los cursos de la facultad

El análisis de este proyecto se enfoca en los cursos de la Facultad Técnica para el Desarrollo (FETD) de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG) que aún no poseen luminarias LED, estos salones de clases poseen cierta cantidad de puntos de luz compuestos por 3 tubos fluorescentes cada uno como se detalla en la tabla que está a continuación.

Tabla 6.1 Lámparas existente en la Facultad

Luminaria	Marca	Código	CCT (°K)	Número de tubos	Potencia (W)	Potencia Total (W)
	Sylvania	F17W T8	6500	3	17	51
	-	Tubo Led T8 18W	6500	3	18	54

Fuente: Sylvania Ecuador, 2017

A partir de esta información se realiza un levantamiento de carga de las luminarias de los salones para poder calcular la Potencia Total que éstas demandan con el fin de llegar a tener el consumo mensual aproximado y plantear una propuesta para remplazar las faltantes por luminarias LED. En la siguiente tabla se detalla cada curso, la cantidad de puntos de luz que poseen y la potencia total de cada uno. Se tomará en cuenta los cursos que ya tengan luminarias LED para el dimensionamiento de los paneles solares que se realizará posteriormente.

$$P_T = N_L * P_{PL}$$

Ecuación1: Potencia total de cada curso

Dónde:

- P_T: Potencia total
- N_L: Número de luminarias
- P_{PL}: Potencia de cada punto de luz

Tabla 6.2 Carga actual de luminarias en los salones de la FETD

Curso	Número de Luminarias	Potencia Total (W)
Ft - 1	6	324
Ft - 2	6	324
Ft - 3	6	324
Ft - 4	6	324
Ft - 5	12	612
Ft - 6	12	612
Ft - 7	12	612
Ft - 8	12	612
Ft - 9	16	816
Ft - 12	12	612
Ft - 13	12	612
Ft - 14	6	324
Ft - 15	6	324
Ft - 16	6	324

Elaborado por: Autor, 2018

6.2 Análisis de consumo eléctrico actual

Para poder realizar el estudio de Costo – Beneficio de la adopción de un sistema LED y de Paneles Solares, se requiere la demanda total actual

de los cursos de la Facultad que se va a cubrir. Con la información expuesta anteriormente es posible calcular el Consumo Mensual mediante el siguiente procedimiento:

1. Calcular la potencia total de todos los cursos
2. Calcular el consumo diario de las luminarias
3. Calcular el consumo mensual

Estos pasos se realizan en la tabla 24 donde se especifican los resultados de cada uno.

El valor de horas que se usará será de 10h puesto que generalmente se dictan clases en el horario matutino de 7AM a 1PM y vespertino de 4PM a 10PM. Mientras que el valor de los días al mes será de 22 ya que hay clases de lunes a sábado (6 días a la semana) lo que sumaría 24 días al mes, pero como estas clases los sábados son pocas, se restan dos días.

El consumo diario aproximado se lo obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$KWh_{DIARIO} = P_T * h * F_U$$

Ecuación 2: Potencia total de cada curso por día

Dónde:

- KWh_{DIARIO} = Consumo diario aproximado
- P_T = Potencia total de cada curso
- h = Horas de trabajo diario
- F_U = Factor de utilización

El consumo mensual aproximado se lo obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$KWh_{MENSUAL} = \sum (KWh_{DIARIO}) * 22$$

Ecuación 3: Potencia total de cada curso por mes

Dónde:

- $KWh_{MENSUAL}$ = Consumo mensual aproximado

- P_T = Potencia total de cada curso

- 22 = Días de funcionamiento por mes

Tabla 6.3 Cálculo de consumo eléctrico mensual de las luminarias

Curso	Potencia (W)	Horas de trabajo diario (h)	Consumo diario aproximado (KWh)
Ft - 1	324	10	3.24
Ft - 2	324	10	3.24
Ft - 3	324	10	3.24
Ft - 4	324	10	3.24
Ft - 5	324	10	3.24
Ft - 6	612	10	6.12
Ft - 7	612	10	6.12
Ft - 8	612	10	6.12
Ft - 9	816	10	8.12
Ft - 12	612	10	6.12
Ft - 13	612	10	6.12
Ft - 14	324	10	3.24
Ft - 15	324	10	3.24
Ft - 16	324	10	3.24
		Consumo diario nominal	67.56
		Factor de utilización	0.7
		Consumo diario aproximado	47.29

	Consumo mensual aproximado	1,040.42
--	----------------------------	----------

Elaborado por: Autor, 2018

6.3 Análisis del consumo eléctrico con luminarias LED

En la tabla 25 se detallan las características más importantes de las luminarias LED que se podrían adaptar en los cursos que se observan en las tablas de análisis. Se puede agregar que el tiempo de vida útil de este modelo de luminaria es superior a las 50,000 horas, posee un factor de potencia de 0.99 y con un grado de protección IP=42.

Se tiene la finalidad de incorporar una luminaria LED que aporte las mismas características lumínicas o incluso mejores que las de las fluorescentes actuales, pero que posean características eléctricas mejores con el propósito de tener un menor consumo eléctrico y que se vea reflejado en la planilla de luz.

Tabla 6.4 Propuesta de lámpara LED para los cursos de la Facultad

Luminaria	Marca	Código	CCT (°K)	Número de tubos	Potencia (W)	Potencia Total (W)
	Sylvania	Tubo Led T8 9W	6500	3	9	27

Fuente: DeltaGlobal, 2017

Teniendo las especificaciones técnicas y eléctricas de estas luminarias podemos realizar el análisis del consumo eléctrico que se tendría con ellas como se realizó en el apartado anterior, los resultados se muestran en las tablas a continuación.

Los datos se los obtuvo de la misma manera que en el primer caso, mediante las Ecuaciones 1, 2 y 3.

Tabla 6.5 Cálculo de consumo eléctrico mensual con luminarias LED

Curso	Potencia (W)	Horas de trabajo diario (h)	Consumo diario aproximado (KWh)
Ft - 1	324	10	3.24
Ft - 2	324	10	3.24
Ft - 3	324	10	3.24
Ft - 4	324	10	3.24
Ft - 5	324	10	3.24
Ft - 6	324	10	3.24
Ft - 7	324	10	3.24
Ft - 8	324	10	3.24
Ft - 9	432	10	4.32
Ft - 12	324	10	3.24
Ft - 13	324	10	3.24
Ft - 14	324	10	3.24
Ft - 15	324	10	3.24
Ft - 16	324	10	3.24
		Consumo diario nominal	46.44
		Factor de utilización	0.7
		Consumo diario aproximado	32.5
		Consumo mensual aproximado	715.17

Elaborado por: Autor, 2018

Según los cálculos realizados, por consecuencia de la adopción total de un sistema de iluminación LED para todos los cursos se tiene un ahorro de 464.64 KWh de consumo nominal mensual, claro está que nos hemos limitado a seleccionar variantes para la propuesta que sean compatibles con las instalaciones existentes para no incrementar costos ocasionados por cambiar conductores, estructuras de soporte, entre otras piezas que forman parte de los sistemas de iluminación.

6.4 Diseño del sistema solar fotovoltaico

Según CONELEC: “Se denomina dimensionado o diseño de un sistema solar fotovoltaico a una serie de procesos de cálculo que logran optimizar el uso y la generación de la energía eléctrica de origen solar, realizando con un balance adecuado entre ellas, desde los puntos de vista técnico y económico.” (CONELEC, 2017)

La mejor forma de tener un dimensionamiento óptimo de este tipo de sistemas es mediante el correcto balance de la energía. Así será capaz de satisfacer las necesidades de los usuarios con seguridad y eficiencia. (Ortega Hidalgo & Boada Carabalí, 2013)

Partiendo de esto se puede afirmar que:

Energía generada = energía consumida + pérdidas propias del sistema + acumulación

Ecuación 4: Ecuación de balance de energía

Normalmente para empezar con el dimensionamiento se debe realizar un estudio de cargas, es decir las características eléctricas de los equipos a alimentar y el tiempo de funcionamiento de estos, el cual se lo realizó en los apartados anteriores correspondientes a las luminarias LED.

Lo segundo que se debe tener presente en el diseño es la disponibilidad en el sitio donde se realizará la instalación del recurso solar, el cual será en el techo de los cursos donde hay espacio suficiente y donde no hay casi nada de sombra.

A continuación, en la Figura 6.1 se muestra el Diagrama de flujo para el diseño de SSFV:

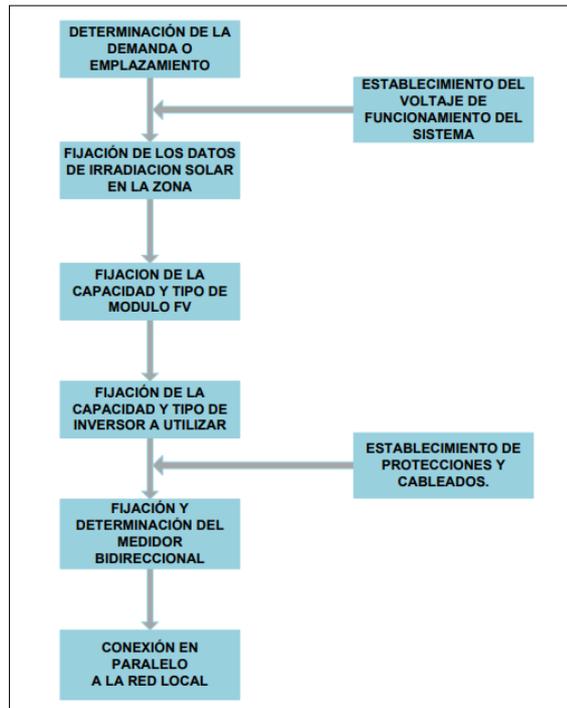


Figura 6.1 Diagrama de flujo para el diseño de SSFV
Fuente: Oscar Ortega & Andrés Boada, 2013

Es de suma importancia saber que la unidad en la que se expresa la cantidad de insolación que estará incidiendo cada día en los paneles es kWh/m²/día o también conocida como HSP (Horas de sol pico), este dato lo se lo puede encontrar en el Atlas solar del Ecuador proporcionado por CONELEC. (CONELEC, 2017)

Las características obtenidas hasta ahora son las siguientes:

- 130 puntos de luz
- 6,144 Watts de potencia instalada total de todos los puntos
- 32,500 W/h de consumo diario aproximado
- 10 horas de uso al día
- 110 Voltios
- Corriente Alterna

6.4.1 Potencia real de generación

Es seguro que ningún sistema eléctrico es ideal, todos presentan un porcentaje de pérdidas. Lo mismo ocurre en los SSFV, desde que captan la radiación solar, en el momento de almacenarla en las baterías y cuando el inversor convierte la energía en AC. Debido a esto se realiza un cálculo de Rendimiento (R) que indica el rendimiento global de toda la instalación para poder conocer la potencia o energía real que se puede generar, el cual viene dado a partir de la siguiente expresión:

$$Rendimiento = (1 - kb - kc - kv) \left(1 - \frac{ka(N)}{Pd} \right)$$

Ecuación 5: Factor de Rendimiento global de una instalación fotovoltaica

Dónde:

- Kb: Coeficiente de pérdidas por rendimiento del banco de baterías
 - 0.05 en sistemas que no presenten descargas profundas
 - 0.1 en sistemas que presenten descargas profundas

- Kc: Coeficiente de pérdidas en el inversor
 - 0.05 para inversores senoidales puros que es la más parecida a la de la red eléctrica, que trabajen en condiciones estables
 - 0.01 para inversores que trabajen en condiciones estables y que no tengan una onda de salina senoidal

- Kv: Coeficiente de pérdidas varias del sistema (conductores, efecto joule, DC-AC, etc.)
 - Usualmente se usan valores entre 0.05 y 0.15

- Ka: Coeficiente de auto-descarga diario
 - 0.002 para baterías de baja auto-descarga Ni-Cd
 - 0.005 para baterías estacionarias de Pb-ácido
 - 0.012 para baterías de auto-descarga (arranque de vehículos)

- N: número de días en que la instalación trabaja en condiciones de irradiación mínimas (días nublados continuos).

- Pd: Profundidad de descarga diaria de la batería

- Se recomienda un valor que no exceda el 80% de su capacidad nominal para no afectar la vida útil del banco de baterías.

Los valores que se utilizarán en las variables se detallan a continuación y además explicando por qué se escogió dicho valor.

- Kb: 0.05. Debido a que el banco de baterías no será de descarga profunda.

- Kc: 0.05 ya que nuestro inversor presenta una eficiencia alta de 92%.

- Kv: 0.1, un valor promedio entre el máximo y mínimo de los valores estandarizados para estos diseños.

- Ka: 0.005, la batería que se utiliza en este diseño es de Pb-ácido.

- N: 2, generalmente el número de días que se escoge para un diseño de SSFV es de 3 o 4 para que se prevean situaciones desfavorables, pero según los datos de la NASA, hay muy poca frecuencia de días nublados en el Ecuador, además que el sistema funcionará siempre horarios fijos y mayormente durante el día, por lo que se utiliza dos como valor.

- Pd: 80%, valor mínimo para el diseño.

Escribiendo estos datos en la Ecuación 5 tenemos:

$$\text{Rendimiento} = (1 - 0.05 - 0.05 - 0.1) \left(1 - \frac{0.005(2)}{0.80} \right)$$

$$\text{Rendimiento} = (0.8) \left(1 - \frac{0.01}{0.80} \right)$$

$$\text{Rendimiento} = (0.8)(1 - 0.01875)$$

$$\text{Rendimiento} = 0.79 = 79\%$$

Una vez conocido el Rendimiento global del sistema podemos hallar la Energía Real que puede generar nuestro SSFV, con la siguiente expresión en la cual se divide el Consumo energético teórico que hallamos en la Tabla 26 para el Rendimiento:

$$\text{Energía Real} = \frac{\text{Energía en Wh}}{\text{Rendimiento}}$$

Ecuación 6: Energía Real Consumida

$$\text{Energía Real} = \frac{32,500}{0.79}$$

$$\text{Energía Real} = 41,139.24 \text{ Wh}$$

Finalmente es necesario conocer la Potencia Real que proveerá el campo fotovoltaico, la cual viene relacionada con la radiación solar que reciba principalmente, además de otros equipos que componen del sistema. Con la Ecuación 7 se puede conocer este dato, se consigue a partir de la fracción de la Energía Real entre las Horas Pico Solar, información que está en la Tabla 27 y que también es de utilidad para el dimensionamiento del grupo de baterías que es pieza fundamental del sistema y que debe trabajar siempre de manera correcta para evitar fallas. (Ortega Hidalgo & Boada Carabalí, 2013)

Tabla 6.6 Heliofanía mensual y promedio en Ecuador

Datos de Heliofanía			
Mes	Días por mes	Heliofanía/Horas	Horas Solares Pico
Enero	31	134.6	4.34

Febrero	28	102.4	3.66
Marzo	31	82.9	2.87
Abril	30	126.1	4.2
Mayo	31	129.4	4.17
Junio	30	177.9	5.93
Julio	31	168.6	5.44
Agosto	31	157	5.06
Septiembre	30	164.2	5.47
Octubre	31	147	4.74
Noviembre	30	129.5	4.32
Diciembre	31	150.8	4.86
Promedio			4.59

Fuente: INAMHI, 2017

$$Potencia Real = \frac{Energía real}{Horas pico solar}$$

Ecuación 7: Potencia Real

$$Potencia Real = \frac{41,139.24 Wh}{4.59}$$

$$Potencia Real = 8,962.79 Wh$$

6.4.2 Número de paneles solares para el sistema

Un factor importante que se requiere para determinar la cantidad de paneles que conformarán este y cualquier otro sistema solar fotovoltaico, es el número de horas solares pico (HSP). Este dato se lo puede encontrar a partir de la heliofanía (cantidad de horas sol) en el sector, lo cual es proporcionado por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). En la Tabla 27 se detallan los valores en el País. La cantidad de paneles solares es clave para desarrollar la generación de potencia necesaria y poder satisfacer la necesidad que tienen los consumidores o usuarios. Es posible conocer este dato a partir de una ecuación que

relaciona la Energía Real que se debe generar por el sistema con la potencia nominal de cada panel y las horas pico solar, como se tiene a continuación: (Ortega & Boada, 2013)

$$\text{Número de Paneles} = \frac{\text{Energía Real}}{\text{Potencia de cada panel} * \text{HPS}}$$

Ecuación 8: Número de paneles

$$\text{Número de paneles} = \frac{41,139.24 \text{ Wh}}{320 \text{ W} * 4.59}$$

$$\text{Número de paneles} = 28 \text{ paneles}$$

Ahora bien, se conoce el número de paneles solares que deben formar el sistema solar, pero hay que agruparlos de cierta manera (serie – paralelo) para que puedan realizar su trabajo adecuadamente y alcanzar los valores de Potencia que se requieren. Para esto se consideran las especificaciones técnicas que provee el fabricante para tener los datos de voltaje y corriente de los equipos y cómo se ven influenciados por la temperatura. (Ortega Hidalgo & Boada Carabalí, 2013)

6.4.2.1 Determinación de paneles en serie

- $V_{ca}(\text{Temp mín.})$ = Voltaje de circuito abierto a una temperatura mínima
- $V_{ca}(25^{\circ}\text{C})$ = Voltaje de circuito abierto a 25°C
- $CT V_{ca}$ = Coeficiente de temperatura de voltaje de circuito abierto

$$V_{ca}(\text{Temp mín}) = V_{ca}(25^{\circ}\text{C}) + V_{ca}(25^{\circ}\text{C}) CT V_{ca}(T_{\text{min}} - 25^{\circ}\text{C})$$

$$V_{ca}(\text{Temp mín}) = 69.4 \text{ V} + 69.4 \text{ V} (-0,174\% /^{\circ}\text{C})(21^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C})$$

$$V_{ca}(\text{Temp mín}) = 69.88 \text{ V}$$

$$\text{Cantidad máx en serie} = \frac{V_{\text{max Inversor}}}{V_{ca}(\text{Temp mín})}$$

$$\text{Cantidad máx en serie} = \frac{750 \text{ V}}{69.88 \text{ V}}$$

$$\text{Cantidad máx en serie} = 10.7 = 11$$

$V_{mp}(\text{Temp máx.})$ = Voltaje de potencia máxima a una temperatura máxima

$V_{mp}(25^{\circ}\text{C})$ = Voltaje de potencia máxima a 25°C

CT Pmp = Coeficiente de temperatura de potencia máxima

$V_{\text{min MPP Inversor}}$ = Voltaje mínimo MPP Inversor

$$V_{mp}(\text{Temp máx}) = V_{mp}(25^{\circ}\text{C}) + V_{mp}(25^{\circ}\text{C}) \text{ CT Pmp}(\text{Tmax} - 25^{\circ}\text{C})$$

$$V_{mp}(35^{\circ}\text{C}) = 55,5 \text{ V} + 55,5\text{V} (-0,29\% /^{\circ}\text{C}) (35^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C})$$

$$V_{mp}(35^{\circ}\text{C}) = 57.11 \text{ V}$$

$$\text{Cantidad min en serie} = \frac{V_{\text{min MPP Inversor}}}{V_{mp}(\text{Temp máx})}$$

$$\text{Cantidad min en serie} = \frac{175 \text{ V}}{57.11 \text{ V}}$$

$$\text{Cantidad min en serie} = 3$$

(Ortega Hidalgo & Boada Carabalí, 2013)

6.4.2.2 Determinación de paneles en paralelo

$I_{cc}(\text{Temp máx.})$ = Corriente de cortocircuito a una temperatura máxima

$I_{cc}(25^{\circ}\text{C})$ = Corriente de cortocircuito a 25°C

CT Icc = Coeficiente de temperatura de corriente de cortocircuito

$$I_{cc}(\text{Temp máx}) = I_{cc}(25^{\circ}\text{C}) + I_{cc}(25^{\circ}\text{C}) \text{ CT Icc}(\text{Tmax} - 25^{\circ}\text{C})$$

$$I_{cc}(35^{\circ}\text{C}) = 4.45 \text{ A} + 4.45 \text{ A} (1.79\% /^{\circ}\text{C}) (35^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C})$$

$$I_{cc}(35^{\circ}\text{C}) = 9,59 \text{ A}$$

$$\text{Cantidad máx en paralelo} = \frac{\text{Corriente entrada Inversor}}{I_{cc}(\text{Temp máx})}$$

$$\text{Cantidad máx en paralelo} = \frac{15 A}{4.45 A}$$

$$\text{Cantidad máx en paralelo} = 3.37 = 3$$

(Ortega Hidalgo & Boada Carabalí, 2013)

6.4.2.3 Disposición de los paneles

Gracias a los cálculos realizados en los dos apartados anteriores, se conoce la cantidad mínima y máxima que puede tener el arreglo de los módulos solares, ya sea en serie o en paralelo. Para el presente caso se necesita de 28 paneles para generar la energía para energizar el sistema de iluminación, teniendo las opciones de conectar hasta 11 paneles en serie, no menos de 3 en serie y 3 en paralelo. Por ello se puede hacer un grupo de 3 filas de paneles. En dos columnas se tienen 9 paneles en serie y en la tercera se colocarían 10, conectando 3 en paralelo y así se está dentro del rango obtenido a partir de las ecuaciones anteriores.



Figura 6.2 Arreglo fotovoltaico
Elaborado por: El Autor, 2018

6.4.3 Inclinación de los módulos solares

Lo primordial para estas instalaciones, es disponerlos de tal manera que puedan captar la mayor cantidad de irradiación solar, esta circunstancia depende de la latitud. Ecuador está ubicado entre los 5° Sur y 2° Norte de latitud.

En la tabla siguiente se verifica el ángulo adecuado para colocar los paneles y obtener su máximo rendimiento aprovechando una adecuada postura para la recepción de la energía del sol. (Ortega Hidalgo & Boada Carabalí, 2013)

Tabla 6.7 Inclinación de paneles fotovoltaicos de acuerdo a su latitud

Latitud	Ángulo de inclinación máximo
0° - 5°	0-10°
6° - 20°	Latitud local + 5°
21° - 45°	Latitud local + 10°
46° - 65°	Latitud local + 15°
66° - 75°	80°

Fuente: Ortega & Boada, 2013

6.4.4 Cálculo del inversor

Para dimensionar el inversor es indispensable conocer la Potencia máxima instantánea que pueden demandar las luminarias de los cursos. Por la información obtenida de la Tabla 26 se sabe que en un día la demanda es de 46,440 Watts al día, quitando las 10 horas de trabajo diario podremos saber lo ocurrido en una hora, tendremos 4,644 Watts funcionando todas las luces al mismo tiempo. A partir de esto se recomienda instalar un inversor de una potencia mayor a la potencia máxima instantánea demandada, por lo que nuestro inversor es de 5,250 Watts. (Ortega Hidalgo & Boada Carabalí, 2013)

6.4.5 Cálculo del banco de baterías

Para estos sistemas es de suma importancia almacenar la energía que se va a utilizar y además hacerlo de manera eficiente para reducir al mínimo las pérdidas por lo que debemos escoger y dimensionar bien los equipos.

Este cálculo se lo realiza con la siguiente ecuación:

$$C_{Bat} = \frac{\text{Energía real} * N}{V_{Bat} * P_{Des}}$$

Ecuación 9: Capacidad del banco de baterías

Dónde:

- N: Número de autonomía del sistema (días nublados)
- V_{Bat} : Voltaje banco de baterías
- P_{Des} : Profundidad de descarga de la batería

$$C_{Bat} = \frac{41,139.24 \text{ Wh} * 1}{175 \text{ V} * 0.80}$$

$$C_{Bat} = \frac{41,139.24 \text{ kWh}}{38.4 \text{ V}}$$

$$C_{Bat} = 293.85 \text{ Ah}$$

El arreglo de las baterías en serie y paralelo para que puedan cumplir con los valores de corriente y voltaje que requiere el sistema se utilizan dos ecuaciones:

$$Bat_{serie} = \frac{V_{Sistema}}{V_{nom}}$$

Ecuación 10: Arreglo de baterías en serie

Dónde:

- $V_{SISTEMA}$: Voltaje del sistema
- V_{NOM} : Voltaje nominal de la batería

$$Bat_{serie} = \frac{175 \text{ V}}{12 \text{ V}}$$

$$Bat_{par} = \frac{C_{Bat}}{I_{nom}}$$

Ecuación 11: Arreglo de baterías en paralelo

Dónde:

- C_{Bat} : Capacidad del banco de baterías

- I_N : Capacidad nominal de la batería

$$Bat_{par} = \frac{C_{Bat}}{I_{nom}}$$

$$Bat_{par} = \frac{293.85 \text{ Ah}}{150 \text{ Ah}} = 2$$

(Ortega Hidalgo & Boada Carabalí, 2013)

6.4.6 Cálculo del Regulador

Para conocer la capacidad que debe tener el regulador de carga, se necesita trabajar con el dato de corriente de cortocircuito del módulo solar que se ha seleccionado y multiplicarlo por la cantidad máxima de paneles que se conectan en paralelo en nuestro sistema de generación. A continuación, se realizan los cálculos:

$$C_{CC} = I_{CC} * \# \text{ Paneles en paralelo}$$

Ecuación 12: Capacidad del regulador

Dónde:

- C_{CC} : Corriente de control de carga

- I_{CC} : Corriente de cortocircuito

$$C_{CC} = 5.98A * 3 \quad C_{CC} = 17.94 A$$

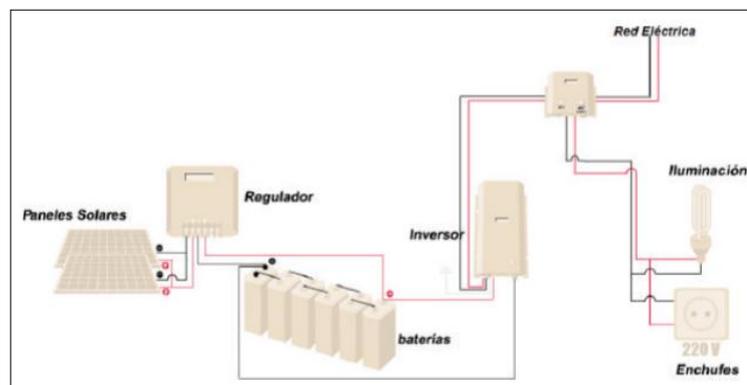


Figura 6.3 Esquema general de una instalación fotovoltaica
Fuente: Danilo Pérez, 2017

CAPÍTULO 7: ESTUDIO ECONÓMICO

7.1 Análisis de costos del sistema de iluminación LED

En el Pliego Tarifario para las Empresas Eléctricas de Distribución, en el Período: Enero–Diciembre 2018, se manifiesta que la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil que posee un nivel de Media Tensión tendrá una Tarifa General de Media Tensión con Demanda con fines comerciales. (ARCONEL, 2018)

Tabla 7.1 Cargos Tarifarios CNEL UN GUAYAQUIL

Rango de Consumo	Demanda (USD/kW-mes)	Energía (USD/kWh)	Comercialización (USD/Consumidor)
Nivel Tensión	Media Tensión con Demanda		
	Comerciales		Consumos kWh-mes: 0-300: 1.414 301-500: 2.826 501-1000: 4.240 <1000: 7.066
	4.003	0.090	
	Industriales		
	4.003	0.075	
	E. Oficiales, Esc. Deportivos, Servicio Comunitario y Abonados Especiales		
	4.003	0.052	
	Bombeo Agua		
	4.003	0.052	

Fuente: ARCONEL, 2018

Según la tabla anterior, en el caso de la Universidad Católica, se encuentra en el rango de consumo eléctrico en la categoría general de media tensión con demanda, el valor que refleja es de 0.090 centavos por cada KWh consumido. En el pliego tarifario se indica que los consumidores comprendidos en este rango deben pagar:

- a) Un cargo por comercialización (USD/consumidor-mes) independiente del consumo de energía.

- b) Un cargo por potencia en USD/kW-mes, por cada kW de demanda mensual facturable indicada en el numeral 8.1 del pliego tarifario, también independiente del consumo de energía.
- c) Un cargo por energía en USD/kWh, en función de la energía consumida.

A partir de esto surge una nueva fórmula para conocer el valor mensual a pagar en dólares, conocida como Facturación, la cual es:

$$FSPEE = E + P + PIT + C + P_{BFP}$$

Ecuación 13: Facturación del servicio público de energía eléctrica

Dónde:

- FSPEE: Factura del servicio público de energía eléctrica - USD

-E: Energía

-P: Demanda de Potencia

-PIT: Pérdidas en Transformadores

-C: Comercialización

-P_{BFP}: Penalización por bajo factor de potencia

Entonces, al aplicar esta fórmula en cada una de las situaciones expuestas anteriormente, se conoce el valor mensual que se paga en la planilla mes a mes. (ARCONEL, 2018)

Sin embargo, para este análisis se halla el gasto mensual por consumo de las luminarias de los cursos que están actualmente y el valor que se pagaría migrando a luminarias LED en los cursos que faltan. Ambos cálculos se realizan con la fórmula descrita a continuación:

$$VM_{USD} = KWh_{MENSUAL} * VKWh_{USD}$$

Ecuación 14: Valor mensual a pagar en dólares

Dónde:

- VM_{USD} = Valor Mensual en dólares
- $KWh_{MENSUAL}$ = Consumo mensual aproximado
- $VKWh_{USD}$ = Valor por kWh en dólares

1) Iluminación actual

$$VM_{USD} = KWh_{MENSUAL} * VKWh_{USD}$$

$$VM_{USD} = 1,351.68 * 0.090$$

$$VM_{USD} = \$121.65$$

2) Iluminación LED total

$$VM_{USD} = KWh_{MENSUAL} * VKWh_{USD}$$

$$VM_{USD} = 950.4 * 0.090$$

$$VM_{USD} = \$85.53$$

(Ortega Hidalgo & Boada Carabalí, 2013)

Se observa que la diferencia en el pago por el consumo eléctrico sería de \$36.11 por mes. Lo que al año reflejaría un ahorro de \$433.37. Ahora bien, el costo de inversión por los 264 tubos LED de 8 Watts que son el remplazo ideal para las luminarias fluorescentes actuales de 17 Watts es de \$6 cada una, en total la inversión sería de \$1,584.

Vale la pena mencionar que terminando de incorporar la tecnología LED para iluminar en los salones de clases se tendría un ahorro significativo anualmente, y un punto muy importante para tomar en cuenta es que lo que se analizó no incluye costos por mantenimiento. Para tener una idea general,

se ingresa al análisis el tiempo de vida útil de ambos tipos de luminarias. Según las fichas técnicas de cada una, los tubos LED tienen un tiempo de vida útil mayor a 50,000 horas (equivalente a 5 años), mientras que las fluorescentes alcanzan aproximadamente 10,000 horas (equivalente a 1 año).

Es decir que se tendría que cambiar las fluorescentes aproximadamente 5 veces hasta tener que cambiar 1 sola vez las LED. Cada fluorescente de la misma marca y modelo cuesta \$4, teniendo un total de \$1,056 por todas las luminarias. En el siguiente cuadro se hará un análisis de gastos año a año comparando las dos tecnologías de iluminación.

Tabla 7.2 Análisis de costos por tiempo de vida útil

	Gasto LED	Gasto Fluorescente
Año 0	\$1,584	-
Año 1	-	\$1,056
Año 2	-	\$1,056
Año 3	-	\$1,056
Año 4	-	\$1,056
Año 5	\$1,584	\$1,056
Total	\$3,168	\$5,280
Ahorro:	\$2,112	

Elaborado por: Autor, 2018

7.2 Análisis de costos del SSFV

Se inicia este análisis mencionando los equipos que se calcularon en el capítulo de estudio técnico con sus características más importantes. Luego

de esto en la Tabla 31 se exponen los costos unitarios de cada uno de ellos y el monto total de la inversión que se debe realizar para implementar el sistema.

1) Panel solar Panasonic VBHN320SJ47

Potencia máxima	P _{máx}	W	320
Tensión para máxima potencia	V _{mp}	V	57.3
Corriente para máxima potencia	I _{mp}	A	5.59
Tensión en circuito abierto	V _{oc}	V	69.4
Corriente en cortocircuito	I _{cc}	A	5.98



Figura7.1 Panel Solar Panasonic HIT 320 W
Fuente: Panasonic Ecuador, 2018

2) Batería Ritar RA12-150

Células por unidad	6
Voltaje por unidad	12
Capacidad	150 Ah
Peso	44.5 kg
Profundidad de descarga	< 3%



Figura 7.2 Batería Ritar 150 Ah
Fuente: Ritar, 2018

3) Inversor SMA Sunny Boy 5000TL

Potencia de entrada máxima	5250 W
Tensión de entrada máxima	750 V
Corriente de entrada máxima	15 A
Potencia máxima de salida	4600 W
Tensión nominal de salida	110 - 220 V
Corriente máxima de salida	22 A



Figura 7.3 Inversor SunnyBoy 5250 W
Fuente: SMA, 2018

4) Regulador 20 amperios 12V Morningstar SS20L

Voltaje nominal	12 V
Corriente de carga	20 A
Corriente solar	20 A
Consumo propio	< 8 mA



Figura 7.4 Regulador SunSaver
Fuente: Morningstar, 2018

Tabla 7.3 Costos unitarios de los equipos del sistema solar

Equipo	Cantidad	Valor unitario	Valor Total
Panel solar	28	\$250	\$7,000
Batería	16	\$150	\$2,400
Inversor	1	\$745	\$745
Regulador	1	\$109	\$109
Mano de obra	1	\$1,200	\$1,200
Inversión total:			\$11,454

Elaborador por: Autor, 2018

7.3 Análisis Costo vs Beneficio del proyecto

Es necesario realizar el cálculo de la producción energética del sistema solar para el desarrollo de este apartado. Fundamentándose en los datos de irradiación que nos proporciona el CONELEC en su Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica” es posible prevenir la producción de

energía mes a mes para tener un aproximado de lo que se generará en un año. La siguiente fórmula se utiliza para hallar esta variable:

$$P_E = I_{Mes} * P_{Panel} * N_P$$

Ecuación 15: Producción energética

Dónde:

- I_{Mes} : Irradiación mensual (KW/m²)

- P_{Panel} : Potencia nominal de cada panel (KWh)

- N_P : Número de paneles del sistema

En la siguiente Tabla se efectuarán estos cálculos aplicando la fórmula anterior mes a mes para obtener la producción de energía. Además, se determinará el consumo de energía. (Ortega Hidalgo & Boada Carabalí, 2013)

Tabla 7.4 Producción de energía por los paneles y su equivalente en dólares

Mes	Irradiación	Días	Irradiancia	Energía producida mensual	Energía Real (pérd. del sist. 10%)	Precio en USD por KWh	Total USD
Enero	4,34	31	134,54	1205,48	1326,03	0,09	\$119,34
Febrero	4,72	28	132,16	1184,15	1302,57	0,09	\$117,23
Marzo	4,73	31	146,63	1313,80	1445,19	0,09	\$130,07
Abril	4,40	30	132	1182,72	1300,99	0,09	\$117,09
Mayo	5,22	31	161,82	1449,91	1594,90	0,09	\$143,54
Junio	6,34	30	190,2	1704,19	1874,61	0,09	\$168,72
Julio	6,99	31	216,69	1941,54	2135,70	0,09	\$192,21
Agosto	6,51	31	201,81	1808,22	1989,04	0,09	\$179,01
Septiembre	6,2	30	186	1666,56	1833,22	0,09	\$164,99
Octubre	6,18	31	191,58	1716,56	1888,21	0,09	\$169,94
Noviembre	6,18	30	185,4	1661,18	1827,30	0,09	\$164,46
Diciembre	5,23	31	162,13	1452,68	1597,95	0,09	\$143,82
		365					\$1.810,41
Np	28						
Panel (KW)	0,32						

Elaborado por: Autor, 2018

Se observa que anualmente se ahorrarían \$1,810.41 y para continuar con el análisis y comprobar el tiempo de amortización de la inversión hay que tomar en cuenta tanto la implementación de las luces LED que tiene un valor de \$1,584, como el costo de implementación del SSFV que tiene un valor de \$11,454. En total la inversión sería de \$13,038.

7.3.1 Criterios de evaluación del proyecto

El VAN (Valor Actual Neto), considera todos los ingresos y egresos del proyecto para un horizonte de tiempo determinado y los compara valorizándolos al momento cero o momento en que la decisión es tomada a través de una tasa de descuento (TMAR) apropiada para los flujos futuros.

La TIR (Tasa Interna de Retorno) es la tasa de descuento que hace que el VAN del Proyecto se hace cero. Así, si la TIR es superior a la tasa de descuento (TMAR), entonces, el VAN del Proyecto es positivo y es conveniente el proyecto.

El Payback o Periodo de retorno se trata de cuánto tiempo se tardará en recuperar la inversión inicial mediante los flujos de caja. Es un método muy útil cuando se quiere realizar una inversión y así tener una idea del tiempo que tendrá que pasar para rescatar el dinero que se ha invertido.

Para este Trabajo de Titulación, el financiamiento es con capital propio de la Universidad. En el flujo de caja proyectado a 5 años se dispuso como beneficio el ahorro que ofrecerá el cambio a estos equipos.

Ahora bien, al analizar los datos obtenidos, se confirma que la implementación de la tecnología LED y la Solar Fotovoltaica es viable. Ya que la propuesta presenta una TMAR del 10%, la cual a su vez proyecta un VAN positivo y una TIR mayor a la TMAR. Condiciones que representan o identifican a un proyecto en el cual se puede invertir y obtener beneficios. Asimismo, los resultados reflejan el periodo de tiempo en el cual se tendrá la recuperación es aproximadamente 4 años. En las Tablas descritas a continuación se muestran los valores de la viabilidad del proyecto y los datos

que se utilizan para realizar los cálculos y el período de tiempo en el que se realiza el análisis.

Tabla 7.5 Viabilidad del proyecto

VIABILIDAD DEL PROYECTO	
VAN > 0	\$ 169,15
TIR > TMR	10,39% > 10%
PAYBACK	4,22 años

Elaborado por: Autor, 2018

Tabla 7.6 Ahorro, Gastos por mantenimiento y depreciación

	2018	2019	2020	2021	2022		
ahorro Paneles Solares	\$ 1.810,41	\$ 1.991,45	\$ 2.190,60	\$ 2.409,66	\$ 2.650,62		
ahorro luces leds	\$ 1.056,00	\$ 1.056,00	\$ 1.056,00	\$ 1.056,00	\$ 1.056,00		
	\$ 2.866,41	\$ 3.047,45	\$ 3.246,60	\$ 3.465,66	\$ 3.706,62		
GASTOS ADMINISTRATIVOS							
	2018	2019	2020	2021	2022		
mantenimiento	0	0	250	0	0		
	\$ -	\$ -	\$ 250,00	\$ -	\$ -		
DEPRECIACION							
Equipo	Cantidad	Valor unitario	Valor Total	Vida util(años)	Dep anual	Dep acum	VL
Panel solar	28	\$ 250	\$ 7.000,00	25,00	\$ 280,00	\$ 1.400,00	\$ 5.600,00
Bateria	16	\$ 150	\$ 2.400,00	10,00	\$ 240,00	\$ 1.200,00	\$ 1.200,00
Inversor	1	\$ 745	\$ 745,00	15,00	\$ 49,67	\$ 248,33	\$ 496,67
Regulador	1	\$ 109	\$ 109,00	10,00	\$ 10,90	\$ 54,50	\$ 54,50
Tubos leds	264	\$ 6	\$ 1.584,00	5,00	\$ 316,80	\$ 1.584,00	\$ -
Inversión total:		\$ 11.838,00			\$ 897,37	\$ 4.486,83	\$ 7.351,17
AÑO	2018	2019	2020	2021	2022		
Deprec Annual	\$ 897,37	\$ 897,37	\$ 897,37	\$ 897,37	\$ 897,37		

Elaborado por: Autor, 2018

Tabla 7.7 Flujo de Caja y Flujo Neto

FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO						
	PERÍODOS					
FLUJO DE RENTABILIDAD DEL PROYECTO	AÑO 0	1	2	3	4	5
DETALLE	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Beneficios		\$ 2.866,41	\$ 3.047,45	\$ 3.246,60	\$ 3.465,66	\$ 3.706,62
G. Administración		\$ -	\$ -	\$ 250	\$ -	\$ -
Depreciación		\$ 897	\$ 897	\$ 897	\$ 897	\$ 897
FLUJO		\$ 1.969	\$ 2.150	\$ 2.099	\$ 2.568	\$ 2.809
INVERSIONES INICIALES ADIC						
Inversión	\$ (13.038,00)					
Valor de Recuperación						
VL						\$ 7.351,17
FLUJO NETO PROYECTO	\$ (13.038,00)	\$ 1.969,04	\$ 2.150,08	\$ 2.099,23	\$ 2.568,29	\$ 10.160,42

Elaborado por: Autor, 2018

7.4 Marco Legal

El marco Legal referencial para la implementación de proyectos eléctricos como nuestro sistema de iluminación y sistema solar fotovoltaico tanto en la parte técnica como ambiental, se ve inmerso en las siguientes normas, leyes y reglamentos:

“Ley del Sector Electrico”

“Ley de la Gestión ambiental”

“Fondo de Electrificación Rural y Urbano Marginal (FERUM)”

“Constitución Política del Estado”

“Ley Orgánica de la Salud”

“Reglamento Técnico ecuatoriano RTE INEN 069 Alumbrado Público”

“Reglamento Técnico ecuatoriano PRTE INEN 278 Módulos LED, Luminarias y Lámparas LED”

“Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental”

“Ley de Régimen de Sector Eléctrico”

“Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre”

“Ley de Patrimonio Cultural”

“Reglamento de Concesiones, Permisos y Licencias para la Prestación del Servicio de Energía Eléctrica”

“Reglamento de Seguridad del Trabajo Contra Riesgos en Instalaciones de Energía Eléctrica”

“Manual de Procedimientos para la Evaluación Ambiental de Proyectos y Actividades Eléctricas del CONELEC”

“Normas Técnicas Ambientales para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental para los Sectores de Infraestructura: Eléctrico, Telecomunicaciones Y Transporte (Puertos Y Aeropuertos)”

CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

La tecnología LED no es algo reciente, es algo que ha estado presente desde hace muchos años atrás, el problema radicaba en que no podía hacerles frente a las luminarias tradicionales hasta hace un par de años. Hoy en día la iluminación LED compite a la par con las lámparas halógenas o de sodio, llegando a superarlas en eficiencia. Esto quiere decir que realizan el mismo o mejor trabajo, consumiendo menos y durando más. Vemos en este proyecto que pueden llegar a ser de gran utilidad, ya que pudo cumplir con lo que se esperaba y alcanzando todos los objetivos que se plantearon para llevarlo a cabo.

El sistema solar fotovoltaico es complementado de la mejor forma la tecnología LED, ya que la demanda se disminuye notablemente, por lo que debemos generar menos. Se pudo comprobar que la tecnología actual ya es lo suficientemente capaz de satisfacer las necesidades de los usuarios, esto se debe a que los paneles tienen una mayor eficiencia y mayor vida útil (aproximadamente 40 años) y los demás equipos que conforman el sistema están avanzando de igual forma, como los inversores que hoy en día presentan una vida útil de 15 a 20 años.

Es evidente que la inversión se la recupera en menos de la mitad del tiempo de vida de los equipos de los sistemas solares fotovoltaicos, que además actualmente aparte de ser seguros, que apenas necesitan mantenimiento y ser amigables con el medio ambiente por necesitar una fuente de energía inagotable, son capaces de proporcionar ambientes estéticos para edificaciones. Seguramente con el pasar de los años esta tecnología será aún mejor y se implementará a gran escala.

8.2 Recomendaciones

Recomiendo que en el momento que la Universidad decida tomar la iniciativa y poner en marcha este y otros proyectos, se utilicen los recursos propios de nuestra Facultad. Es decir que los mismos estudiantes de las carreras de eléctrico mecánica y control y automatismo pueden trabajar mancomunadamente y prestar la mano de obra apropiada para implementar las tecnologías aquí planteadas y muchas más para beneficio de la Universidad y de ellos mismos ya que sería una muy buena forma de poner en práctica lo aprendido en clases.

La instalación de un Panel de Transferencia o Tablero Relevador para conectar las luminarias a la red eléctrica en caso de falla del sistema. También aislar el sistema de iluminación en un solo panel al cual llegue el SSFV. Estas serían buenas opciones para trabajos de tutorías o prácticas para pasantías.

Así mismo fomentar la investigación para que se desarrollen más estas y nuevas tecnologías que sean solución para el problema que tenemos todos los habitantes de este planeta, para poder conservarlo y también aportar a disminuir los costos por la transmisión de energía eléctrica y las pérdidas que se dan en el proceso.

Finalmente, plantear un proyecto para desarrollar una metodología que permita calcular de manera precisa los datos de radiación solar que incide en Ecuador, ya que la información que nos brinda la NASA no es del todo exacta y así poder realizar diseños de sistemas solares más precisos y eficientes, a la par que el estado no se detenga y proponga beneficios para la amplitud de proyectos de energías renovables en todo el país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcubierre, D. (2013). Energía solar para todos. México: Cemaer.
- Anfalum. (2015). Fenercom. Obtenido de Comunidad de Madrid:
<https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-sobre-tecnologia-LED-en-el-alumbrado-fenercom-2015.pdf>
- ARCONEL. (2018). Pliego Tarifario para las Empresas Eléctricas de Distribución. Obtenido de Resolución No. ARCONEL - 005/18:
<http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/Resolucion-y-Pliego-Tarifarios-SPEE.pdf>
- Bejerano, P. (2017). Así están las energías renovables en el mundo. Obtenido de World Economic Forum:
<https://www.weforum.org/es/agenda/2017/06/asi-estan-las-energias-renovables-en-el-mundo>
- CONELEC. (2017). Atlas Solar del Ecuador. Obtenido de Consejo Nacional de Electricidad:
<http://energia.org.ec/cie/wp-content/uploads/2017/09/AtlasSolar.pdf>
- Díaz, T., & Rubio, G. (2010). Instalaciones solares fotovoltaicas GM. Málaga: McGraw-Hill.
- Ecologistas en Acción. (2007). Impacto ambiental. Obtenido de Ecologistas en acción: <https://www.ecologistasenaccion.org/article10057.html>
- El Telégrafo. (2016). 36,8 toneladas de CO₂ se generan anualmente en Guayaquil. Obtenido de el Telégrafo:
<http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/guayaquil/10/36-8-toneladas-de-co2-se-generan-anualmente-en-guayaquil>
- El Universo. (2017). La energía solar se abre terreno en Ecuador. Obtenido de El Universo:

<https://www.eluniverso.com/tendencias/2017/06/10/nota/6222868/energia-solar-se-abre-terreno-ecuador>

Farrás, J. G. (2001). Iluminación. En OIT, Enciclopedia de Salud y Seguridad en el trabajo (pág. 20). Madrid: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales Subdirección General de Publicaciones.

Fenercom. (2012). Guía técnica de la energía solar termoeléctrica. Obtenido de Fenercom: <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-tecnica-de-la-energia-solar-termoelectrica-fenercom-2012.pdf>

González, R. (2012). twenergy. Obtenido de ¿CÓMO FUNCIONA LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA?: <https://twenergy.com/a/como-funciona-la-energia-solar-fotovoltaica-339>

Lamigueiro, O. P. (2015). Energía Solar Fotovoltaica. Madrid: Creative Commons.

Molina, P. B., Jiménez, J. Á., Palomares, M. P., & Valenzuela, B. Á. (2017). Instalaciones solares fotovoltaicas de autoconsumo para pequeñas instalaciones. Aplicación a una nave industrial. Obtenido de 3C Tecnología: <https://www.3ciencias.com/wp-content/uploads/2017/03/ART1.pdf>

Monrroy, M. M. (2006). Manual de la iluminación. Islas Canarias: Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria.

Ortega Hidalgo, O. I., & Boda Carabalí, A. G. (2013). Procedimiento Técnico para la implementación de microcentrales eléctricas utilizando paneles fotovoltaicos. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana : <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6348/1/UPS-KT00800.pdf>

Rodríguez, D., & Arroyo, D. (2016). Energía solar fotovoltaica en Ecuador. Obtenido de El Telégrafo: <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/punto-de-vista/1/energia-solar-fotovoltaica-en-ecuador>

Schreder. (2014). Soluciones de iluminación LED. Obtenido de Catálogo LED español: <http://www.schreder.com/globalassets/ess-es/documents/schreder-catalogo-led-espanol.pdf>

SunFields. (2017). Módulo Fotovoltaico: Listado de Parámetros fundamentales. Obtenido de SunFields: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/modulo-fotovoltaico-parametros-fundamentales/>

ANEXOS

Anexo 1: Ficha Técnica Luminaria LED

TUBO LED T8 60cm 9w

FICHA TÉCNICA

Módulo LED Profesional TUBO T8, 60cm, 9W, IP42

Introducción:

- ✓ Diseñado para sustituir tubos fluorescentes de longitud 60 cm y 18W.
- ✓ Utiliza LEDs SMD 2835 Epistar de alta luminosidad.
- ✓ Disponible en luz fría (W), neutra (A) y cálida (N).
- ✓ Ángulo del haz luminoso 120°.
- ✓ Fuente integrada de alta calidad Led Hispania.
- ✓ Protección IP42.
- ✓ Carcasa de aluminio con disipación de calor funcional.
- ✓ Garantía: 1 Año.



Descripción:

1.- Especificaciones Técnicas

> Mecánicas

Material carcasa	Aluminio
Material Pantalla	Polycarbonato PC
Alto H (mm)	30
Largo L (mm)	600
Ancho W (mm)	30
Peso Neto (kg)	0,20
Cubierta Optica	Polycarbonato PC, traslúcido

> Eléctricas y Lumínicas

Potencia Eléctrica (W)	9
Factor de Potencia (PF)	0,9890
Voltaje (V) / Frecuencia (Hz)	AC100~240 / 50~60
Grado de Protección (IP)	42
Tipo de Conexión Eléctrica	Input 100/240VAC, Clavijas bi-pin std
PROTECCION	IP42
Fuente Luminosa / Fabricante Chips LED	LEDs SMD 2835 / Epistar®
Eficacia Luminosa LED (lm/W)	110
Flujo Luminoso Producto (lm)	758
Angulo Apertura del Haz (°)	120°
Temperatura de color (TK)	~5500 (W) / 4200 (A) / 3000 (N)
CRI (Ra)	>70
Tiempo de Vida (h)	>50.000

Anexo 2: Ficha Técnica Panel Solar



Panel Solar VBHN320SJ47

[SEE PRODUCT PAGE](#)[IMPRIMIR](#)

Características Eléctricas (a CS)	Potencia máxima	(Pmax)	[W]	320
	Tensión para máxima potencia	(Vmp)	[V]	57.3
	Corriente para máxima potencia	(Imp)	[A]	5.59
	Tensión en circuito abierto	(Voc)	[V]	69.4
	Corriente en cortocircuito	(Isc)	[A]	5.98
	Protección contra sobrecorriente		[A]	15
	Tolerancia de potencia a la salida		[%]	+10-0*
	Voltaje máximo del sistema		[V]	1000
Nota:				Condiciones estándar: masa del aire 1,5; Irradiancia = 1000 W/m ² , temperatura del panel = 25°C. * Todos los módulos fabricados y medidos por Panasonic, tienen tolerancia positiva en la potencia máxima.
Características de temperatura	Temperatura	(NOCT)	[°C]	44.0
	Coefficiente de tem. de Pmax		[%/°C]	-0.29
	Coefficiente de tem. de Voc		[V/°C]	-0.174
	Coefficiente de tem. de Isc		[mA/°C]	1.79
A NOCT	Potencia máxima	(Pmax)	[W]	243.6
	Tensión para máxima potencia	(Vmp)	[V]	55.5
	Corriente para máxima potencia	(Imp)	[A]	4.45
	Tensión en circuito abierto	(Voc)	[V]	65.5
	Corriente en cortocircuito	(Isc)	[A]	4.82
Nota:				Condiciones estándar: masa del aire 1,5; Irradiancia = 1000 W/m ² , temperatura del panel = 25°C. * Todos los módulos fabricados y medidos por Panasonic, tienen tolerancia positiva en la potencia máxima.
A baja irradiancia	Potencia máxima	(Pmax)	[W]	61.0
	Tensión para máxima potencia	(Vmp)	[V]	55.9
	Corriente para máxima potencia	(Imp)	[A]	1.09
	Tensión en circuito abierto	(Voc)	[V]	64.9
	Corriente en cortocircuito	(Isc)	[A]	1.20
Nota:				Baja Irradiancia: Masa del aire 1,5; Irradiancia = 200 W/m ² ; Temp. Célula = 25°C

Anexo 3: Ficha Técnica Batería



RA12-150 (12V150Ah)



RA series is a general purpose battery with 10 years design life in float service. It meets with IEC, JIS and BS standards. With up-dated AGM valve regulated technology and high purity raw materials, the RA series battery maintains high consistency for better performance and reliable standby service life. It is suitable for UPS/EPS, medical equipment, emergency light and security system applications.

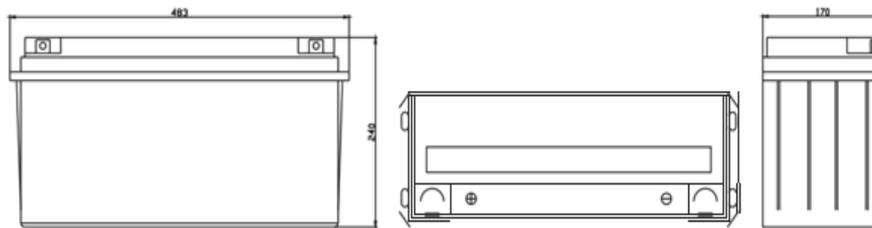
Specification

Cells Per Unit	6
Voltage Per Unit	12
Capacity	150Ah@10hr-rate to 1.80V per cell @25°C
Weight	Approx. 44.5 Kg (Tolerance ± 1.5%)
Max. Discharge Current	1500A (5 sec)
Internal Resistance	Approx. 4 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	45A
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 F5/F12
Container Material	A.B.S. UL94-HB UL94-V0 Optional.

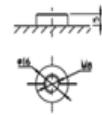


Dimensions

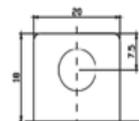
Unit: mm Dimension: 483(L) × 170(W) × 240 (H)



Terminal F12



Terminal F5



Anexo 4: Ficha Técnica Inversor

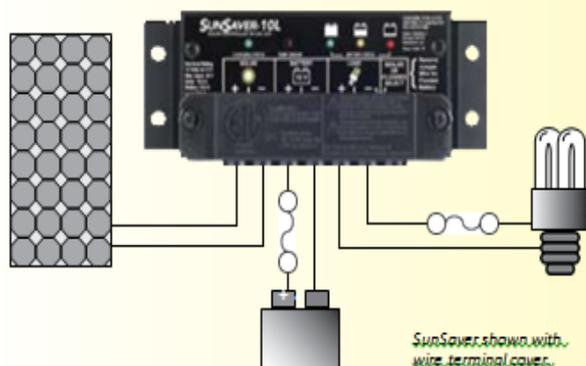
Datos técnicos	Sunny Boy 3000TL	Sunny Boy 4000TL	Sunny Boy 4000TL/V	Sunny Boy 5000TL
Entrada (CC)				
Potencia máxima de CC (con $\cos \varphi = 1$)	3200 W	4200 W	4200 W	5300 W
Tensión máx. de CC	550 V	550 V	550 V	550 V
Rango de tensión MPP	188 V - 440 V	175 V - 440 V	175 V - 440 V	175 V - 440 V
Tensión nominal de CC	400 V	400 V	400 V	400 V
Tensión de CC mín. / tensión inicial	125 V / 150 V	125 V / 150 V	125 V / 150 V	125 V / 150 V
Corriente máx. de entrada / por String	17 A / 17 A	2 x 15 A / 15 A	2 x 15 A / 15 A	2 x 15 A / 15 A
Cantidad de seguidores del punto de máxima potencia (MPP) / Strings por seguidor del punto de máxima potencia (MPP)	1 / 2	2 / A: 2, B: 2	2 / A: 2, B: 2	2 / A: 2, B: 2
Salida (CA)				
Potencia nominal de CA (a 230 V, 50 Hz)	3000 W	4000 W	3680 W	4600 W
Potencia aparente de CA máxima	3000 VA	4000 VA	4000 VA	5000 VA
Tensión nominal de CA; rango	220, 230, 240 V; 180 - 280 V	220, 230, 240 V; 180 - 280 V	220, 230, 240 V; 180 - 280 V	220, 230, 240 V; 180 - 280 V
Frecuencia de red de CA; rango	50, 60 Hz; ± 5 Hz	50, 60 Hz; ± 5 Hz	50, 60 Hz; ± 5 Hz	50, 60 Hz; ± 5 Hz
Corriente máx. de salida	16 A	22 A	22 A	22 A
Factor de potencia ($\cos \varphi$)	1	1	1	1
Fases de inyección / fases de conexión	1 / 1	1 / 1	1 / 1	1 / 1
Rendimiento				
Rendimiento máx. / rendimiento europeo	97,0 % / 96,3 %	97,0 % / 96,4 %	97,0 % / 96,4 %	97,0 % / 96,5 %
Dispositivos de protección				
Protección contra polarización inversa (CC)	●	●	●	●
Seccionador de carga de CC ESS	●	●	●	●
Resistencia al cortocircuito (CA)	●	●	●	●
Monitorización de cortocircuito a tierra	●	●	●	●
Monitorización de red (SMA Grid Guard)	●	●	●	●
Con separación galvánica / unidad de monitorización de corriente de fallo sensible a la corriente universal	-/●	-/●	-/●	-/●
Clase de protección / categoría de sobretensión	I / III	I / III	I / III	I / III
Datos generales				
Dimensiones (ancho / alto / fondo) en mm	470 / 445 / 180	470 / 445 / 180	470 / 445 / 180	470 / 445 / 180
Peso	22 kg	25 kg	25 kg	25 kg
Rango de temperatura de servicio	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C
Emissiones de ruido (típicas)	≤ 25 dB(A)	≤ 29 dB(A)	≤ 29 dB(A)	≤ 29 dB(A)
Consumo característico nocturno	< 0,5 W	< 0,5 W	< 0,5 W	< 0,5 W
Topología	Sin transformador	Sin transformador	senza trasformatore	Sin transformador
Sistema de refrigeración	Convección	OptiCool	OptiCool	OptiCool
Tipo de protección electrónica / área de conexión (según CEI 60529)	IP65 / IP54	IP65 / IP54	IP65 / IP54	IP65 / IP54
Clase climática (según CEI 60721-3-4)	4K4H	4K4H	4K4H	4K4H
Características				
Conexión de CC: SUNCLIX	●	●	●	●
Conexión de CA: terminal de tornillo / conector / terminal de muelle	-/●	-/●	-/●	-/●
Display: línea de texto / gráfico	-/●	-/●	-/●	-/●
Interfases: RS485 / Bluetooth*	○/●	○/●	○/●	○/●
Garantía: 5 / 10 / 15 / 20 / 25 años	●/○/○/○/○	●/○/○/○/○	●/○/○/○/○	●/○/○/○/○
Certificados y autorizaciones (otros a petición)	CE, VDE 0126-1-1, DK 5940, RD 1663, G83/1-1, PPC, AS4777, EN 50438*, C10/C11, PPDS, KEMCO (sólo SB 3000TL-20)			
* No se aplica a todas las desviaciones nacionales de la norma EN 50438				
● De serie ○ Opcional – no disponible				
Datos en condiciones nominales				
Modelo comercial	SB 3000TL-20	SB 4000TL-20	SB 4000TL-20/V 0159	SB 5000TL-20

Anexo 5: Ficha Técnica Regulador

SUNSAVER™ Solar controller

SunSaver Versions

	Solar Current	Load Current	System Voltage	LVD
• SS-6-12V	6A	6A	12V	No
• SS-6L-12V	6A	6A	12V	Yes
• SS-10-12V	10A	10A	12V	No
• SS-10L-12V	10A	10A	12V	Yes
• SS-10L-24V	10A	10A	24V	Yes
• SS-20L-12V	20A	20A	12V	Yes
• SS-20L-24V	20A	20A	24V	Yes



TECHNICAL SPECIFICATIONS

Electrical

- Max. PV and load ratings Per above
- System voltage 12 or 24 volts
- Min. battery voltage 1 volt
- Regulation voltage 12 volt 24 volt
 - Sealed battery 14.1 V 28.2V
 - Flooded battery 14.4 V 28.8V
- Load disconnect 11.5V 23.0V
- LVD reconnect 12.6 V 25.2V
- Max. solar voltage
 - 12V battery 30volts
 - 24V battery 60volts
- Load in-rush capability
 - SunSaver-6 45 amps
 - SunSaver-10 65 amps
 - SunSaver-20 140 amps
- Self-consumption < 8 mA
- Voltage accuracy 12V: +/- 25 mV (typical)
24V: +/- 48 mV (typical)
- Transient surge protection 1500W per connection

Mechanical

- Wire size 5 mm²/#10 AWG
- Weight (unpacked) 0.23kg/ .8oz.
- Dimensions 15.2 x 5.5 x 3.4 cm
6.0 x 2.2 x 1.3 inch

Environmental

- Ambient temperature -40°C to +60°C
- Storage temperature -55°C to +80°C
- Humidity 100% non-condensing
- Tropicalization Epoxy encapsulation
Marine rated terminals
Anodized aluminum case

Electronic Protections

- Solar: Overload, short-circuit, high voltage
- Load: Overload, short-circuit, high voltage
- Battery: High voltage
- All: Reverse polarity, high temperature, lightning
And transient surges
- Reverse current at night

Battery Charging

- Charging method 4 stage series PWM
- Charging stages Bulk, absorption, float, equalize
- Temperature compensation
 - Coefficient 12V: -30mV/°C
24V: -60mV/°C
 - Range -30°C to +60°C
 - Set points Absorption, float, equalize

LED Indications

- Status LED (1) Charging or not charging
Solar error conditions
- Battery LED's (3) Battery level
Charging stage

Certifications

- ETL Listed to UL 1741 and CSA C22.2 No. 107.1-01
- Hazardous Locations Class 1, Division 2,
Groups A, B, C, D
CSA C22.2#213
- EMC Directives Immunity, emissions, safety
- FCC Class B Part 15
- CE
- RoHS
- ISO 9000

Anexo 6: Plano Dimensiones panel solar y Ángulo de Inclinación



UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE
SANTIAGO DE GUAYAQUIL

TEMA:

SISTEMA SOLAR
FOTOVOLTAICO PARA
LUMINARIAS DE LOS
SALONES DE CLASES

RESPONSABLE:

MATEO HORA

CONTIENE:

CARACTERÍSTICAS PANELES
SOLARES

SIMBOLOGIA:

N/A

COLABORADORES:

ESCALA: LÁMINA 1/1

INDICADA

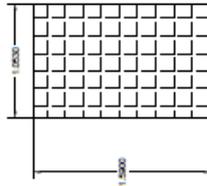
01

FECHA:

FEBRERO 2018

Dimensiones del Panel Solar

Vista Frontal



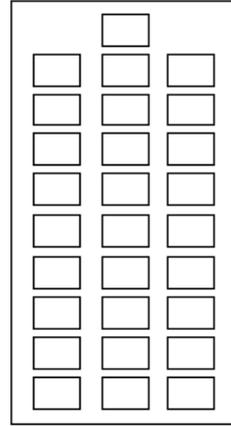
Vista Lateral



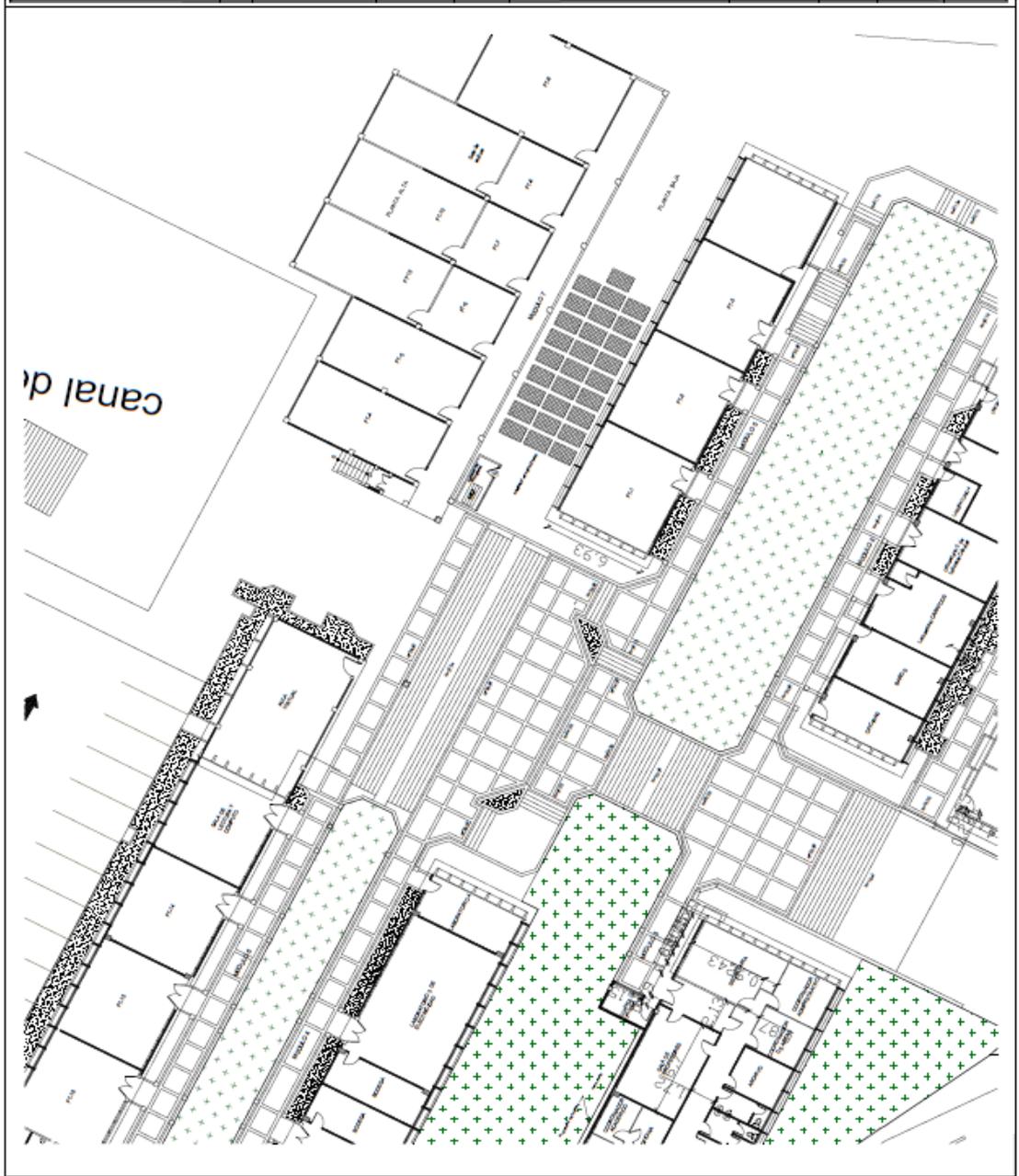
Ángulo de inclinación



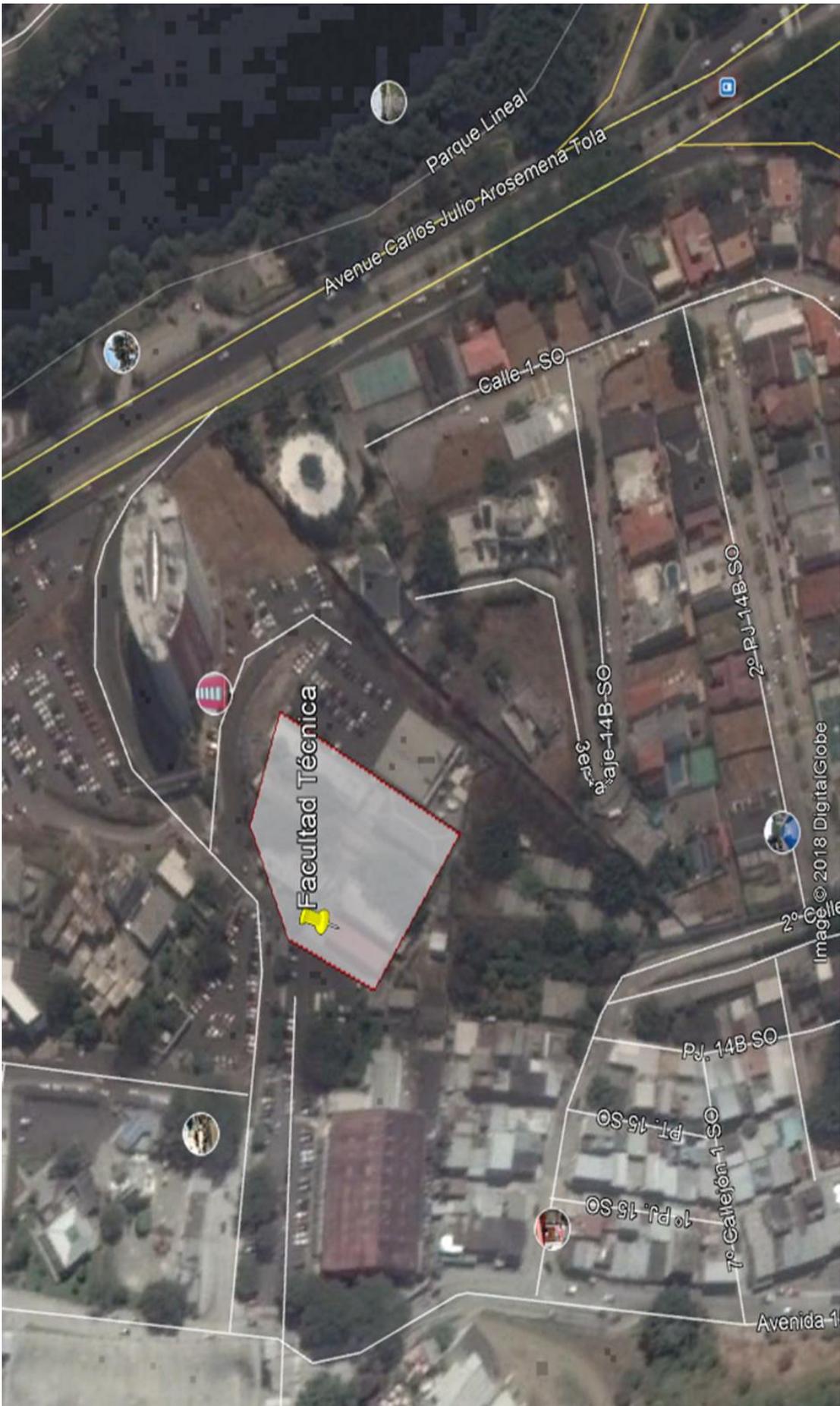
Arreglo de Paneles Solares



Anexo 7: Plano Propuesta de Implantación SSFV y Cuarto de Baterías



Anexo 8: Ubicación del proyecto



Anexo 9: Datos de irradiación solar en Ecuador

Sistema de Coordenadas Geográficas-WGS84

LONGITUD: 78.6 grad 31 min 30 seg OBSTE

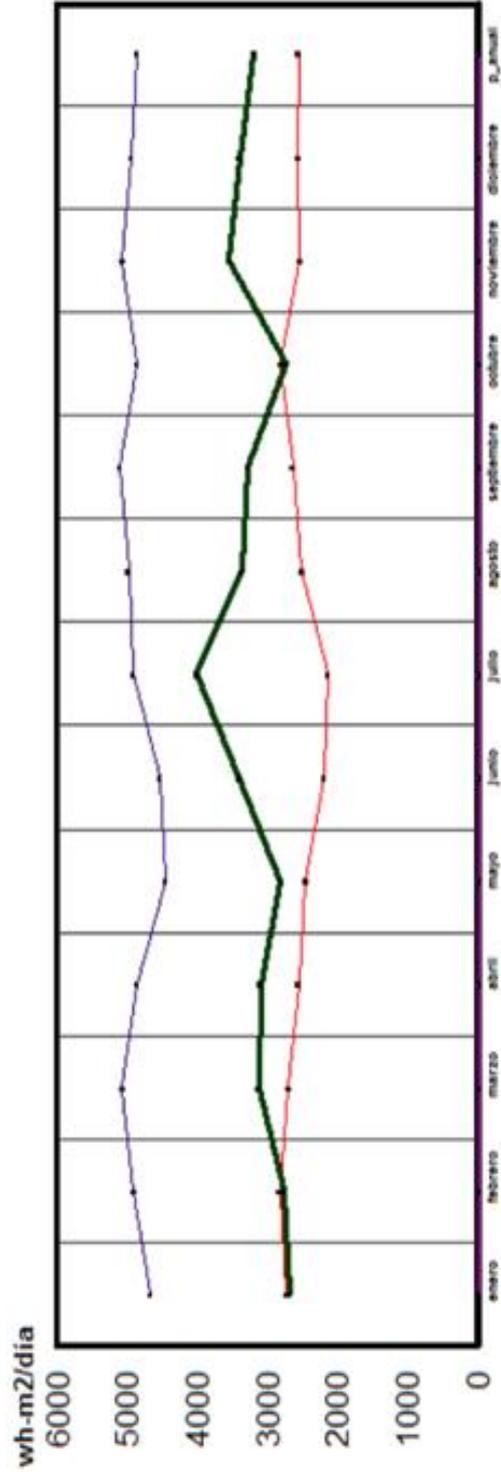
LATITUD: 00 grad 13 min. 47 seg SUR

Sistema de Coordenadas UTM-WGS84

Este: 708.952,00

Norte: 9.975.088,00

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	p_anual
difusa	2.741,49	2.830,97	2.700,29	2.561,81	2.457,43	2.189,67	2.144,19	2.514,49	2.637,21	2.807,54	2.536,71	2.566,75	2.557,38
directa	2.695,54	2.778,60	3.127,68	3.097,27	2.820,97	3.413,18	4.012,16	3.363,54	3.277,70	2.740,09	3.546,32	3.398,26	3.189,28
global	4.670,60	4.909,34	5.071,80	4.864,71	4.456,74	4.534,28	4.913,70	4.976,94	5.103,85	4.860,46	5.073,62	4.940,34	4.864,62



■ Insolación Difusa
■ Insolación Directa
■ Insolación Global



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Mora Delgado, Mateo Nicolás**, con C.C: # **0930335401** autor del trabajo de titulación: **Análisis técnico y económico de la migración a un sistema de iluminación LED para los cursos de la Facultad Técnica, alimentado por paneles solares** 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, **08 de marzo de 2018**

f. _____

Nombre: **Mora Delgado, Mateo Nicolás**

C.C: **0930335401**

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Análisis técnico y económico de la migración a un sistema de iluminación LED alimentado por paneles fotovoltaicos en los salones de clase de la Facultad Técnica		
AUTOR	Mateo Nicolás Mora Delgado		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Raúl Montenegro Tejada / Juan Carlos López Cañarte		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Eléctrico Mecánica		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero en Eléctrico-Mecánica		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	08 de marzo de 2018	No. PÁGINAS:	DE 134
ÁREAS TEMÁTICAS:	Energía Renovable, Iluminación LED, Ahorro energético.		
PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:	RADIACIÓN, ENERGÍA SOLAR, RENTABILIDAD, GENERACIÓN DE ENERGÍA, LED, CARGA LUMÍNICA, PANELES SOLARES, INVERSOR.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):	<p>El Ecuador goza de una posición geográfica privilegiada, esto proporciona niveles elevados de radiación solar a lo largo del año que no podemos dejar de aprovechar y debemos seguir avanzando con proyectos que inviertan en energía solar. Es por esto que este trabajo de titulación se basa en corroborar la rentabilidad que podemos obtener al incorporar un sistema de generación de energía renovable para producir la demanda que necesita el sistema de iluminación para los salones de clases de la Facultad Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. El presente proyecto empieza aclarando los conceptos más importantes que se deben tener en cuenta al trabajar con las tecnologías implicadas. Luego se realiza el levantamiento de carga lumínica actual y se proponen luminarias LED que sustituyan las actuales para disminuir la demanda actual y brindar los niveles de iluminación adecuados. A partir de esto se dimensiona el sistema solar fotovoltaico y se especifican equipos para usar como los paneles solares, batería, inversor, etc. Para realizar el estudio económico y determinar el tiempo de amortización de la inversión.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593980783760	E-mail: nicommmd@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Philco Asqui Luis Orlando		
	Teléfono: +593980960875		
	E-mail: orlandophilco_7@hotmail.com		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
IRECCIÓN URL (tesis en la web):			