



**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA ALUMBRADO CON
LUMINARIAS LED Y SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA
FOTOVOLTAICA EN ÁREAS EXTERIORES**

Autor:

Alexia G. Espinoza

Profesor Guía:

Ing. Vincenzo Bonadio

Caracas, 2021



FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA ALUMBRADO CON
LUMINARIAS LED Y SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA
FOTOVOLTAICA EN ÁREAS EXTERIORES**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO CIVIL

REALIZADO POR:

Alexia G. Espinoza

PROFESOR GUÍA:

Ing. Vincenzo Bonadio

FECHA:

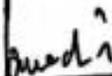
Julio 2021

**ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA ALUMBRADO CON
LUMINARIAS LED Y SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA
FOTOVOLTAICA EN ÁREAS EXTERIORES**

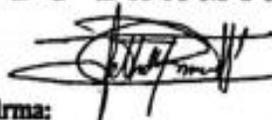
Este jurado; Una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado: Veinte (20) puntos

JURADO EXAMINADOR

Firma:



Firma:



Firma:



Nombre:

VINCENZO BONADIO

Nombre:

RICCARDO SALVATORELLI

Nombre:

MARIA C. VIANA

REALIZADO POR:

Alexia G. Espinoza

PROFESOR GUÍA:

Ing. Vincenzo Bonadio

FECHA:

Julio 2021

Dedico este trabajo especial de grado a Dios, quien es el primero que siempre ha estado presente apoyándome como mi mayor fan y me dio la oportunidad de tener una buena educación para aportar con mis conocimientos a su gran obra llamada vida.

AGRADECIMIENTOS

Ante todo quiero agradecer a Dios porque me dio la oportunidad de estudiar en la universidad la carrera de Ingeniería Civil.

A mi familia quienes siempre me apoyaron, demostraron amor y paciencia a lo largo de mi carrera. En especial a mi mamá, mi papá, mis abuelos y a mi tía Aura quienes me han ayudado mucho, me han animado y quienes estuvieron muy pendientes de la elaboración de este trabajo.

A la Universidad Católica Andrés Bello, especialmente a la Dirección de Cooperación Económica Estudiantil, en conjunto con el Programa Andrés Bello los cuales me otorgaron la Beca de Apoyo Integral Andrés Bello durante toda mi carrera. En especial a mi coordinadora y amiga Eduvigis Sánchez, quien me supo escuchar, aconsejó y guió en el camino.

A todos los trabajadores de la biblioteca por su labor y la ayuda prestada durante mis estudios. En especial a mis amigos Morela Duarte, José Ferrer y Lilizbeth Flores, quienes siempre estuvieron ahí para ayudarme, aconsejarme, compartir conmigo y hacerme reír con su buen humor.

Al Ingeniero Vincenzo Bonadio quien me dio la oportunidad de ser mi tutor, por sus enseñanzas, su paciencia, su profesionalismo, su buena disposición y su tiempo.

Al Ingeniero Orlan Briceño, por la ayuda brindada, su buena disposición y entusiasmo, por los conocimientos que me ha transmitido en sus asesorías, sus opiniones y su tiempo.

A todos mis profesores de pregrado, especialmente a los ingenieros: Rafael Becemberg, María Viana, Ahmed Irazabal, María Faustino, Luis Rotundo y María Barreiro.

A personas maravillosas como Juan Carlos, Vanessa y Rubén quienes realmente me ayudaron a superar muchos momentos difíciles que la carrera puso delante de mí y creo que sin su apoyo no hubiera superado, el nivel al cual he llegado en parte es gracias a ustedes y a su dedicación conmigo, gracias de verdad.

A mis amigos, especialmente: Nayree Quiñones, Fabienne Arecius, Fransay Acuña, John Letthorny, Genesis Velandia, Miguel Medina, Mariela Canelón y Sixto Hernández, gracias por acompañarme, ser confidentes, brindarme su apoyo sincero a lo largo de este camino y lo que venga en el futuro, los quiero.

También doy gracias al Sr. Edgar por todo su apoyo, consejos y la ayuda que me brindó, siempre con alegría y buen humor.

A todas las personas que directa o indirectamente me ayudaron en este camino tan fascinante como exigente llamado Ingeniería Civil.

SINOPSIS

La motivación del presente trabajo especial de grado fue plantear alternativas para la iluminación que posean una mejor tecnología que permita disminuir y optimizar el consumo de energía requerido por la UCAB para hacerla una Institución más sustentable. La investigación tuvo como objetivo realizar un estudio comparativo a nivel técnico y económico entre varios sistemas de energía fotovoltaica y LED para alumbrado público en el campus UCAB. Específicamente fueron evaluados dos sistemas: Luminarias Solares autosuficientes y Luminarias LED con conexión a la red eléctrica como opción para incluir en el alumbrado del campus específicamente en áreas específicas de jardín interno y Estacionamiento. Además se planteó una propuesta de diseño para un sistema fotovoltaico aislado en el área de Edificio de Estacionamiento el cual también se evaluó de manera técnica y económica.

Como resultado para las alternativas de luminarias, se escogieron las alternativas LED por encima de las Solares porque el precio por consumo mensual de energía eléctrica en Venezuela las hizo más factible económicamente, sin embargo se comprobó que usar luminarias Solares también es buena opción. Además se observó una reducción en el consumo de 60 % que son 9.745,5 KWh/año para el área de Jardines Internos, 62,5% que son 10.950 KWh/año para el Estacionamiento de Profesores y 71,95% que son 183.843,20 KWh/año para el Edificio de Estacionamiento. Por otra parte se determinó que la instalación de un sistema aislado en una ubicación tal como la UCAB no es factible desde el punto de vista económico, sin embargo se recomendó la evaluación de alternativas de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red que pueden resultar más económicos y convenientes para la Institución.

Palabras Clave: Desarrollo Sustentable, LED, Fotovoltaico, Luminaria, Consumo Energético.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS	II
SINOPSIS	III
ÍNDICE GENERAL	IV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE ECUACIONES	XIII
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1 - PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO.....	5
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	8
1.2.1 Objetivo General.....	8
1.2.2 Objetivos Específicos.....	8
1.3 JUSTIFICACIÓN	9
1.4 ALCANCE Y LIMITACIONES	11
CAPÍTULO 2 – MARCO TEÓRICO.....	12
2.1 ANTECEDENTES	12
2.2 ENERGÍAS EXISTENTES	15

2.2.1 Energía Eólica.....	16
2.2.2 Energía de Biomasa	19
2.2.3 Energía Hidroeléctrica	22
2.2.4 Energía Marina.....	25
2.2.5 Energía Geotérmica	29
2.2.6 Energía Solar.....	32
2.2.7 Ventajas y Desventajas de las Energías Renovables	38
2.3 RADIACIÓN SOLAR	40
2.3.1 Irradiancia e Irradiación Solar	42
2.3.2 Masa de Aire	43
2.3.3 Día Solar Pico	44
2.4 PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO.....	45
2.4.1 Estructura del Panel Fotovoltaico	45
2.4.2 Célula Fotovoltaica	47
2.4.3 Parámetros Fundamentales de la Célula Solar.....	50
2.5 SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	52
2.5.1 Tipos de Sistemas Fotovoltaicos.....	53
2.5.2 Procesos del Sistema Fotovoltaico.....	55
2.6 ILUMINACIÓN LED.....	61
2.7 LUMINARIAS SOLARES.....	62

CAPÍTULO 3 - MARCO METODOLÓGICO	65
3.1 PRIMERA PARTE	65
3.2 SEGUNDA PARTE.....	68
3.3 ALUMBRADO DE CALLES Y CARRETERAS	70
3.3.1 Clasificación de la zona y de la carretera – Niveles de iluminación	71
3.3.2 Selección de luminarias y fuentes de luz	71
3.3.3 Clasificación de las luminarias	72
3.3.4 Emplazamiento de las luminarias – Separación y altura de montaje.....	74
3.4 ALUMBRADO DE ÁREAS EXTERIORES.....	76
3.5 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	76
3.5.1 Análisis de carga.....	77
3.5.2 Dimensionado del generador fotovoltaico	78
3.5.3 Dimensionado del banco de baterías.....	80
3.5.4 Cálculo del regulador de carga	83
3.5.5 Cálculo del inversor fotovoltaico.....	84
CAPÍTULO 4 – CÁLCULOS Y RESULTADOS	85
4.1 PRIMERA PARTE	85
4.1.1 Jardín Interno	85
4.1.2 Estacionamiento Profesores	91
4.2 SEGUNDA PARTE	94

4.2.1 Dimensionamiento Sistema Fotovoltaico Edificio Estacionamiento	94
CAPÍTULO 5 – ANÁLISIS DE RESULTADOS	108
5.1 PRIMERA PARTE	108
5.1.1 Jardín Interno	108
5.1.2 Estacionamiento Profesores	110
5.2 SEGUNDA PARTE.....	111
5.2.1 Sistema Fotovoltaico Edificio Estacionamiento	111
CONCLUSIONES	114
RECOMENDACIONES.....	116
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	117
ANEXO 1.....	129
ANEXO 2.....	130
ANEXO 3.....	131
ANEXO 4.....	132

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Alumbrado público Paseo Marítimo de Barcelona (Fernández, 2015).....	6
Figura 2 Parque Eólico De Waubra Australia (ACCIONA, 2021).....	17
Figura 3 Esquema de central hidroeléctrica (Enel Green Power, 2021).....	24
Figura 4 Esquema de funcionamiento de una central Geotérmica (Greenteach, 2020)....	30
Figura 5 Esquema del efecto fotovoltaico en panel solar (Serrano, 2015)	36
Figura 6 Espectro de radiación solar (ECYT-AR, 2017).....	41
Figura 7 Tipos de radiación solar (Carbonell, 2020)	42
Figura 8 Gráfica irradiancia vs tiempo (AulaFacil, 2021)	43
Figura 9 Geometría Solar para cálculo de paneles solares (Gómez, 2021)	44
Figura 10 Estructura de célula fotovoltaica (Ortiz, 2016)	47
Figura 11 Curva Intensidad vs Voltaje (Eliseo, 2018).....	52
Figura 12 Esquema de instalación fotovoltaica aislada (HelioEsfera, 2019).	53
Figura 13 Esquema de instalación fotovoltaica interconectada (IMAGO, 2015).....	54
Figura 14 Esquema de instalación fotovoltaica hibrida (HelioEsfera, 2019).	55
Figura 15 Jardines internos UCAB entre los Módulos 6 y 4.	65
Figura 16 Luminarias tipo: Capri, Hongo y Reflector MH (Obralux, 2021).....	66
Figura 17 Estacionamiento de profesores (Piso 3, atrás de Modulo 1).	66
Figura 18 Luminaria exterior tipo M40 (Obralux, 2021)	67
Figura 19 Edificio de estacionamiento UCAB.	68
Figura 20 Luminarias tipo: Industrial, Parabólica y de Emergencia (Obralux, 2021).....	69
Figura 21 Reflector Horizontal HRF (WEMCA)..	69
Figura 22 Clasificaciones de la distribución de luz (Westinghouse, 1982).....	73

Figura 23 Altura de montaje y longitud brazo (Westinghouse, 1982).....	75
Figura 24 Croquis planta separación luminarias.....	76
Figura 25 Gráficas Comparativas Luminarias LED Caminería.....	85
Figura 26 Gráficas Comparativas Reflectores LED.	87
Figura 27 Gráficas Comparativas Luminaria Tipo Hongo (Bombillos).	88
Figura 28 Gráficas Comparativas Luminarias Solares Caminería.....	90
Figura 29 Gráficas Comparativas Alumbrado Público LED.	92
Figura 30 Gráficas Comparativas Alumbrado Público Solar.	93
Figura 31 Gráficas Comparativas Tubos LED Luminaria Industrial.....	94
Figura 32 Gráficas Comparativas Tubos LED Luminaria Parabólica.	95
Figura 33 Gráficas Comparativas Luminaria de Emergencia.	96
Figura 34 Gráficas Comparativas Reflectores.	97
Figura 35 Universidad Católica Andrés Bello (Google, 2021)	100
Figura 36 Gráficas Comparativas Paneles Solares.	103
Figura 37 Gráficas Comparativas Reguladores de Carga.	104
Figura 38 Gráficas Comparativas Baterías.	105
Figura 39 Gráficas Comparativas Alternativas Luminaria Jardín Interno.....	109
Figura 40 Gráficas Comparativas Alternativas Luminaria Est. Profesores.	111
Figura 41 Gráficas Comparativas Alternativas Edif. Estacionamiento.	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Nivel luminoso medio horizontal (Westinghouse, 1982).	71
Tabla 2 Altura mínima de montaje para luminarias (Westinghouse, 1982).	74
Tabla 3 Valores de referencia de tensión de trabajo (Méndez & Cuervo, 2011).	81
Tabla 4 Características Técnicas Luminaria LED Caminería.	85
Tabla 5 Consumo Diario Luminaria LED Caminería.	86
Tabla 6 Características Técnicas Reflectores LED.	86
Tabla 7 Consumo Diario Reflectores LED.	87
Tabla 8 Características Técnicas Luminaria Tipo Hongo (Bombillos).	88
Tabla 9 Consumo Diario Luminaria Tipo Hongo (Bombillos).	89
Tabla 10 Presupuesto Luminarias LED Jardín Interno.	89
Tabla 11 Características Técnicas Luminaria Solar Caminería.	89
Tabla 12 Características Técnicas Reflector Solar.	91
Tabla 13 Presupuesto Luminarias Solar + LED Jardín Interno.	91
Tabla 14 Características Técnicas Alumbrado Público LED.	92
Tabla 15 Consumo Alumbrado Público LED.	92
Tabla 16 Presupuesto Alumbrado Público LED.	93
Tabla 17 Características Técnicas Alumbrado Público Solar.	93
Tabla 18 Presupuesto Alumbrado Público Solar.	94
Tabla 19 Características Técnicas Tubos LED Luminaria Industrial.	94
Tabla 20 Características Técnicas Tubos LED Luminaria Parabólica.	95
Tabla 21 Características Técnicas Luminaria de Emergencia.	96
Tabla 22 Características Técnicas Reflectores.	97

Tabla 23 Consumo energético – Modelo N°1.	98
Tabla 24 Consumo energético – Modelo N°2.	98
Tabla 25 Radiación Solar Caracas UCAB – KWh/m ² /mes (PVGIS, 2021).	101
Tabla 26 Tabla de radiaciones promedio (KWh/m ² /mes).....	102
Tabla 27 Tabla de radiaciones promedio (KWh/m ² /día).	102
Tabla 28 Tabla Cocientes Consumo / Radiación.....	102
Tabla 29 Datos previos para el diseño Generador Fotovoltaico.	103
Tabla 30 Características Técnicas Paneles Solares.....	103
Tabla 31 Cálculo de Generador Fotovoltaico.	103
Tabla 32 Datos previos para diseño de Regulador de Carga.	104
Tabla 33 Características Técnicas Reguladores de Carga.	104
Tabla 34 Cálculo de Regulador de Carga.	104
Tabla 35 Datos previos para diseño de Baterías.	105
Tabla 36 Características Técnicas Baterías.....	105
Tabla 37 Cálculo de Baterías.	105
Tabla 38 Datos previos para diseño de Inversor de Corriente.	106
Tabla 39 Características Técnicas Inversor de Corriente.	106
Tabla 40 Cálculo de Inversor de Corriente.	106
Tabla 41 Datos previos para diseño de Inversor Cargador.	106
Tabla 42 Características Técnicas Inversor Cargador.	106
Tabla 43 Cálculo Inversor Cargador parte Regulador de Carga.....	107
Tabla 44 Cálculo Inversor Cargador parte Inversor de Corriente.....	107
Tabla 45 Presupuesto SFV aislado para Edificio Estacionamiento.	107

Tabla 46 Análisis Costo Total Luminaria LED Jardín Interno.....	108
Tabla 47 Análisis Costo Total Luminaria Solar + LED Jardín Interno.	109
Tabla 48 Análisis Costo Total Luminaria LED Estacionamiento Profesores.....	110
Tabla 49 Análisis Costo Total Luminaria Solar Estacionamiento Profesores.....	110
Tabla 50 Análisis Costo Total Luminaria LED Edificio de Estacionamiento.....	111
Tabla 51 Análisis Costo Total SFV + LED Edificio de Estacionamiento.....	112

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Irradiación solar (Alonso, 2019)	43
Ecuación 2 Masa de aire (SESLab, 2015)	43
Ecuación 3 Hora solar pico (Alonso, 2019).....	45
Ecuación 4 Potencia máxima (Carmona & Díaz, 2018).....	51
Ecuación 5 Factor de forma (Carmona & Díaz, 2018).....	51
Ecuación 6 Eficiencia de conversión (Carmona & Díaz, 2018).....	51
Ecuación 7 Consumo energético diario de cada equipo (Alonso, 2020).	78
Ecuación 8 Consumo medio de energía diario (Alonso, 2020).	78
Ecuación 9 Número total de paneles solares (Alonso, 2020).	79
Ecuación 10 Número de ramas en serie (Alonso, 2020).....	80
Ecuación 11 Número de ramas en paralelo (Alonso, 2020).	80
Ecuación 12 Capacidad nominal batería – Diaria (Alonso, 2020).....	81
Ecuación 13 Capacidad nominal batería – Estacional (Alonso, 2020).....	81
Ecuación 14 Número de ramas de baterías en paralelo.	82
Ecuación 15 Número de ramas de baterías en serie.....	82
Ecuación 16 Número de baterías totales.	82
Ecuación 17 Corriente de entrada al regulador (Alonso, 2020).....	83
Ecuación 18 Corriente de salida del regulador (Alonso, 2020).....	83
Ecuación 19 Número total de reguladores.	84
Ecuación 20 Potencia corregida del inversor (Alonso, 2020).....	84
Ecuación 21 Número total de inversores.	84

INTRODUCCIÓN

Cada día los efectos del cambio climático se van manifestando en el mundo de manera progresiva, todo esto debido al aumento y la acumulación de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmosfera producto de la industrialización, desforestación y agricultura a gran escala. El GEI más abundante es el dióxido de carbono CO₂ que resulta de la quema de combustibles fósiles, según (Naciones Unidas, 2019) representa alrededor de dos tercios de todos los tipos de GEI.

Para mitigar esta amenaza se han hecho a nivel mundial varios acuerdos que proveen un conjunto de normas comunes y metas viables para reducir las emisiones de carbono, gestionar los riesgos del cambio climático, desastres naturales y reconstruir después de una crisis, dentro de los cuales cabe destacar: El Acuerdo de París aprobado en la Conferencia sobre el Cambio Climático (COP21) el 12 de diciembre de 2015 y la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible aprobada por la Asamblea General de las Naciones Unidas el 25 de Septiembre de 2015.

Con respecto a la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible, fueron planteados 17 objetivos mundiales basados en el concepto de sostenibilidad y que están interrelacionados, lo que significa que el éxito de uno afecta el de los otros.

Desde la perspectiva energética la generación de energía es el factor que más contribuye al cambio climático y según (PNUMA, 2015) representa alrededor del 60% del total de las emisiones mundiales de GEI, en tal sentido se hace necesaria una transición energética desde fuentes de energía no renovables como son los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón) y el uranio, hacia fuentes de energía renovables, no contaminantes tales como: energía solar, eólica,

biomasa, geotérmica o hidráulica. Así lo expone el objetivo de desarrollo sostenible (ODS) 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna.

La energía solar fotovoltaica constituye una tecnología de generación eléctrica renovable ya que se alimenta de una fuente de energía primaria inagotable y limpia como la radiación solar. El efecto fotovoltaico fue reconocido por primera vez en 1839 por el físico francés Alexandre Edmond Becquerel y ha sido utilizado a través del tiempo para varias aplicaciones desde sensores de luz para cámaras fotográficas, paneles fotovoltaicos para el sector aeroespacial, hasta plantas fotovoltaicas de generación aislada o conectadas a la red.

El desarrollo tecnológico ha permitido integrar paneles solares en distintos productos como por ejemplo una luminaria de alumbrado público y combinarlo con el uso de la tecnología LED (siglas en inglés: Diodo Emisor de Luz) la cual fue desarrollada por el científico estadounidense Nick Holonyak en 1962 y abrió una puerta a futuros desarrollos que permitieron en la actualidad que las luminarias LED generen un consumo de energía menor, posean larga vida útil, no contengan gases tóxicos y reduzcan las emisiones de calor a comparación con una luminaria tradicional o ahorradora.

Venezuela obtiene gran parte de su energía del petróleo y sus recursos hídricos, el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) está conformado por plantas de generación hidroeléctrica en su mayoría y plantas de generación termoeléctrica, estas últimas producen CO₂ al medio ambiente. Actualmente el SEN atraviesa por una crisis caracterizada por la interrupción frecuente del servicio y racionamiento continuo, la Asociación Venezolana de Ingeniería Eléctrica, Mecánica y profesiones afines (AVIEM) afirma que el SEN posee una “capacidad instalada de generación de poco más de 34000 MW, sin embargo; su capacidad operacional

disponible es incapaz de cubrir una demanda eléctrica nacional estimada entre 11500 a 12500 MW y deben ser racionados entre 1000 a 1500 MW diarios” (AVIEM, 2020).

Por otra parte hay áreas del país que debido a su ubicación geográfica cuentan con características de potencial energético solar alto que pueden “catalogarse de excelentes a supremas como fuente de energía solar según estándares internacionales” y hace factible la generación de electricidad a través de la energía fotovoltaica (Posso, González, Guerra, & Gómez, 2014, p.42).

Para la Universidad Católica Andrés Bello uno de los objetivos para los próximos años es “Desarrollar una universidad sustentable, que contribuye con el proceso de transformación hacia una sociedad responsable ambientalmente constituyéndose como referente nacional e internacional en lo que se refiere a la incorporación de contenidos verdes” (UCAB, 2013, Eje 8: Sustentabilidad).

En tal sentido el presente trabajo consiste en el estudio comparativo a nivel técnico y económico de dos (2) sistemas: Luminaria solar independiente (Incluye: Celda fotovoltaica + LED) y Luminaria dependiente (Incluye: Luminaria LED + conexión a la red eléctrica) para incluir en el alumbrado del campus específicamente en jardines internos y estacionamientos, además se plantea el diseño de un sistema fotovoltaico aislado para un área específica de estacionamiento del campus. Todo lo anterior con el objetivo de plantear alternativas para disminuir y optimizar el consumo de energía requerido por la Institución.

Este proyecto ha sido dividido en cinco partes. En la primera parte, se plantea el problema de investigación, sus objetivos, justificación y alcances de la investigación. En la segunda se introducen algunos comentarios en relación a la bibliografía que inicialmente

fundamenta este estudio y se delimitan las bases teóricas que lo sustentan. En la tercera parte, se incorporan las orientaciones metodológicas que se han de seguir en el marco de la investigación que se propone realizar. En la cuarta parte se exponen los cálculos y resultados de las dos alternativas en estudio y finalmente en la quinta parte se realiza el análisis de resultados que determina cual opción es más viable desde la perspectiva técnica y económica.

CAPÍTULO 1 - PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Abogar por el ahorro energético, la sostenibilidad y el respeto medioambiental sumado a buscar alternativas para superar la crisis energética actual que enfrenta el país, es el reto al que se enfrenta la Universidad Católica Andrés Bello en la actualidad. Así lo expuso en el Plan Estratégico UCAB 20-20 en donde uno de los objetivos para los próximos años es “Desarrollar una universidad sustentable, que contribuye con el proceso de transformación hacia una sociedad responsable ambientalmente constituyéndose como referente nacional e internacional en lo que se refiere a la incorporación de contenidos verdes” (UCAB, 2013, Eje 8: Sustentabilidad).

Asimismo según estudios publicados por la Revista Geográfica Venezolana “existen áreas en el país, principalmente hacia la franja costera norte e insular, que por su potencial de energía solar superior a $5,1 \text{ KWh}/m^2$ (promedio nacional), pueden catalogarse de excelentes a supremas como fuente de energía solar según estándares internacionales” esto significa que Venezuela se encuentra ubicada en una zona tropical con horas de sol todo el año lo que demuestra la factibilidad de aprovechamiento del potencial energético solar en el país (Posso et al., 2014, p.42).

Actualmente el avance tecnológico de las últimas décadas ha permitido que las energías renovables, especialmente la solar fotovoltaica, sean más accesibles, ya que “el potencial de las energías renovables está creciendo aceleradamente debido a la constante disminución de los precios, las variadas aplicaciones en sectores como la agricultura, educación y salud” (Robles & Rodríguez, 2018, párrafo 3), asimismo según (IRENA , 2019) una tercera parte de la capacidad de potencia global proviene actualmente de energías renovables (ER), además la tendencia de fuerte

crecimiento en la capacidad de ER vista en la última década continuó en 2018 con adiciones globales de 171 gigavatios (GW) y el aumento del 7,9 por ciento se vio reforzado por nuevas adiciones de energía solar y eólica, que representaron el 84 por ciento del crecimiento.

Hoy por hoy se ha hecho posible integrar paneles solares en distintos productos como una luminaria de alumbrado público para hacerla autosuficiente, proporcionando de esta manera ahorro eléctrico y automatización, por ejemplo (National Geographic, 2017) informó que en algunas ciudades de España se implementó un sistema de alumbrado público sostenible 100% autónomo que funciona con energía eólica y solar. El sistema fue desarrollado por su inventor Ramón Bergalló investigador del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC) en conjunto con la empresa Eolgreen, dicha propuesta de alumbrado es un 20% más económica que los sistemas convencionales, ver Figura 1.



Figura 1- Alumbrado público Paseo Marítimo de Barcelona (Fernández, 2015).

Las luminarias solares están diseñadas para que capturen la energía del sol durante el día a través de un panel fotovoltaico que la transforma en energía eléctrica y la almacena en una batería para ser utilizada en horas de la noche. Además, estas luminarias tienen integrado el hardware necesario que permite controlarlas y programarlas de forma remota, convirtiéndose en un sistema inteligente.

El desarrollo tecnológico actual, las recurrentes fallas que presenta el Sistema Eléctrico Nacional (SEN), las ventajas en cuanto al potencial de energía solar en el país, sumado a la iniciativa de la UCAB por convertirse en una universidad más sustentable hacen factible plantear el estudio de alternativas para disminuir y optimizar el consumo de energía requerido por la Institución.

Consiste en el estudio de dos (2) sistemas: Luminaria solar independiente (Incluye: Celda fotovoltaica + LED) y Luminaria dependiente (Incluye: Luminaria LED + conexión a la red eléctrica) para incluir en el alumbrado del campus específicamente en jardines internos y estacionamientos, además se plantea el diseño de un sistema fotovoltaico aislado para un área específica de estacionamiento del campus.

La UCAB cuenta con características de infraestructura instalada, tales como postes de luz a lo largo y ancho de todo el campus, en los que se pueden colocar las luminarias. Así, mirando al futuro de los espacios de recreación y tránsito de la universidad, se propiciaría una mejor visibilidad, mayor seguridad, reducir el consumo innecesario y fomentar la responsabilidad ambiental entre la comunidad universitaria.

1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 Objetivo General

Realizar un estudio comparativo entre varios sistemas de energía fotovoltaica y LED para alumbrado público en el campus UCAB.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Escoger los sistemas fotovoltaicos / luminarias LED más adecuados para la aplicación.
2. Diseñar el sistema de iluminación para cada alternativa.
3. Realizar comparación técnica.
4. Realizar comparación económica con moneda referencial.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El 2019 fue un año marcado por la agudización de la crisis eléctrica en Venezuela, con los siniestros ocurridos el 7, 25 y 29 de Marzo. Siendo el del pasado 7 de Marzo el de mayor cobertura nacional, de acuerdo con (CNN Español, 2019) fue un corte energético sin precedentes que afectó 90% del territorio nacional, generó pérdidas económicas y tuvo una duración de 140 horas aproximadamente.

Sumado a esto los racionamientos eléctricos han aumentado notablemente en diversas áreas del país, según (López, 2020) la Asociación Venezolana de Ingenieros Eléctricos y Mecánicos AVIEM reportó 33 fallas de transmisión entre el primero de Enero y el 5 de Marzo de 2020, las cuales contribuyen a que hayan más racionamientos.

Esta situación ha llevado a algunas empresas del sector privado, comercios y zonas residenciales a instalar sistemas de respaldo de energía, tales como generadores motorizados de uso doméstico los cuales funcionan a partir de un motor de combustión que se puede alimentar mediante el uso de gas, gasolina o diesel, incrementando así la producción de CO₂, según (Zaá, 2016) los generadores eléctricos portátiles han sido una de las opciones que más han utilizado los Venezolanos para mitigar los efectos de la crisis de generación eléctrica y debido a que estos artefactos funcionan mediante la quema de combustibles emiten CO₂, además de gases tóxicos al ambiente, como resultado se han convertido en una amenaza para la salud de los usuarios y han generado contaminación ambiental.

Por estas razones surge la necesidad de estudiar energías alternativas y renovables que se están llevando a la práctica con éxito a nivel mundial. La energía solar fotovoltaica funciona independiente de la red eléctrica, esto significa que no es afectada por las eventuales fallas que

ocurran en el SEN y además su uso es capaz de disminuir el impacto ambiental por mitigación de emisiones de gases y en particular CO₂. De acuerdo con el ODS 7 “La eficiencia energética y el aumento del uso de energías renovables contribuyen a la mitigación del cambio climático y la reducción del riesgo de desastres” (PNUMA, 2015, párrafo 3).

Asimismo es importante destacar que las luminarias LED a diferencia de las Ahorradoras no contienen mercurio, ni gases tóxicos, además están libres de plomo y con respecto a los focos incandescentes la tecnología LED es capaz de reducir en mayor medida las emisiones de calor, además de proporcionar un consumo de energía mucho menor, según (CELSIA, 2017, párrafo 2) “El ahorro que un hogar o una empresa puede obtener al cambiar sus sistemas de iluminación convencional por tecnología LED puede ser hasta de un 50% aproximadamente o más”.

Ya que Venezuela se encuentra ubicada en una zona tropical con horas de sol todo el año se hace totalmente factible la generación de electricidad a través de la energía fotovoltaica.

Para la población venezolana los beneficios tanto de la energía fotovoltaica como de la iluminación LED serían bastantes significativos, tanto por el ahorro de consumo así como también por el aumento de la calidad de vida.

La importancia del estudio comparativo entre varios sistemas de energía fotovoltaica y LED para alumbrado público en el campus UCAB reside en que su resultado proporciona a la Universidad una forma de acercarse más hacia el objetivo enmarcado en el Eje 8: Sustentabilidad Ambiental del Plan Estratégico: UCAB 20-20 y además proporciona tanto a la Institución como a los estudiantes de ingeniería una referencia que demuestra la potencialidad de ahorro y disminución del impacto ambiental; Razones que justifican y a su vez permiten sustentar la implantación efectiva de un proyecto de eficiencia eléctrica como el que se plantea en el futuro.

1.4 ALCANCE Y LIMITACIONES

Los alcances de la investigación son los siguientes:

1. Se pretende el estudio comparativo entre varios sistemas de energía fotovoltaica y LED para alumbrado público, el cual estará ubicado en la Universidad Católica Andrés Bello, específicamente en dos espacios: jardín interno (M4 y M6) y estacionamiento profesores (Piso 3, atrás de M1).
2. Se realizará una comparación técnica y económica para cada alternativa.
3. Se planteará una propuesta de diseño de un sistema fotovoltaico aislado + Luminaria LED para el edificio de estacionamiento del campus UCAB.
4. Se realizará evaluación técnica y de costos para el sistema fotovoltaico aislado + Luminaria LED del edificio de estacionamiento del campus UCAB.
5. Serán evaluados únicamente productos del mercado Venezolano por factores de conveniencia económica en cuanto a reducción de costos.

Dentro de las limitaciones se tiene lo siguiente:

1. No se estudiara el resto del campus de la universidad por factores de tiempo y complejidad.
2. El estudio económico que se realizará estará basado en una moneda estable de referencia, debido a la inflación que vive el país actualmente.
3. El diseño del sistema fotovoltaico aislado + Luminaria LED solo contemplará la alimentación de la luminaria del edificio de estacionamiento UCAB.

CAPÍTULO 2 – MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

Durante el desarrollo del trabajo especial de grado de Estévez X. y Luongo J. (2013), de la Universidad Católica Andrés Bello, titulado: “Planteamiento de plan piloto bajo en energía fotovoltaica y luminarias de bajo consumo LED en la iluminación de áreas exteriores de la UCAB”, a través de una investigación cuantitativa de alcance exploratorio se realizó un estudio comparativo técnico y económico sobre el planteamiento de un sistema de iluminación con paneles fotovoltaicos en conjunto con tecnología LED para una zona de estacionamiento en la UCAB. Tal investigación contó con: dimensionamiento del sistema fotovoltaico, presupuesto del sistema, análisis del valor presente neto y valor anual equivalente para cada caso de estudio.

Se concluyó que el consumo disminuye en un 70,18 %, aproximadamente 61.624,8 KWh/Año al implantar luminarias con tecnología LED, lo que confirma su eficacia. Además una de las ventajas que presenta la posible instalación de paneles solares es que la UCAB podría ser independiente en cierto grado del Sistema Eléctrico Nacional (SEN). También se afirmó que el mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos tiene bajo costo ya que los paneles solares son limpiados con la lluvia y sus otros componentes como: inversores, baterías y reguladores son libres de mantenimiento hasta que su vida útil sea cubierta.

Por otra parte en el trabajo especial de grado de Vásquez R. y Aymara C. (2012), de la Universidad Central de Venezuela, titulado: “Uso de tecnología LED con energía alternativa para el sistema de alumbrado público de la ciudad de Caracas; Caso de estudio: CORPOELEC – zona capital”, mediante una investigación cuantitativa de alcance exploratorio, se realizó un estudio comparativo técnico y económico sobre el planteamiento de un sistema de alumbrado

público aplicando tecnología LED mediante el uso de energía alternativa (solar/eólica) para su futura implementación en una plaza y una autopista de Caracas con respecto a los sistemas tradicionales. Dicha investigación incluyó: Determinación de los parámetros operacionales del sistema híbrido eólico – fotovoltaico, dimensionamiento del sistema, presupuesto del sistema, análisis del valor presente neto y valor anual equivalente para cada caso de estudio con respecto al sistema eléctrico convencional.

Se llegó a la conclusión de que la velocidad del viento y el nivel de radiación solar existente en Caracas según datos de las estaciones climatológicas del INAMEH superan los valores mínimos necesarios para la implementación de un sistema de alimentación con energía híbrida eólica – fotovoltaica. Asimismo aseguró que el impacto ambiental se verá disminuido al utilizar este tipo de sistemas de energía alternativa, disminuyendo la quema de combustibles fósiles y por ende las emisiones de CO₂ al ambiente. Además se expuso la importancia de la investigación afirmando que es un aporte a futuros proyectos que promuevan el uso de energías alternativas en Venezuela, contribuyendo de esta manera con planes energéticos, sociales, económicos y políticos del Estado.

Mientras tanto en el trabajo especial de grado de Seekatz A. y Delgado S. (2011), de la Universidad Católica Andrés Bello, titulado: “Estudio de la aplicación de sistemas de paneles fotovoltaicos en desarrollos de viviendas de interés social”, por medio de una investigación cuantitativa de alcance exploratorio, se realizó un estudio comparativo técnico y económico sobre el planteamiento de una alternativa de generación eléctrica aprovechando la energía solar utilizando un sistema de módulos fotovoltaicos para un edificio típico de interés social y para una vivienda rural, con respecto al uso de la red tradicional. Tal investigación desarrolló:

dimensionamiento del sistema fotovoltaico, presupuesto del sistema, análisis del valor presente neto en cada caso de estudio con respecto al sistema eléctrico convencional.

Se concluyó que en Venezuela existen numerosas empresas dedicadas a la instalación, comercialización y asesoría con respecto a sistemas de paneles fotovoltaicos. Del mismo modo se destacó que gracias a que la energía solar se consume en el mismo sitio de producción se evitan pérdidas de línea eléctrica que pueden llegar a ser considerables. Asimismo se sostuvo la importancia que tiene la futura implementación de sistemas fotovoltaicos para producción de energía eléctrica, ya que debido al uso de combustibles fósiles los costos causados por daños ambientales son impredecibles en el mediano plazo, además del impacto sobre la salud pública y la política.

Por último en el proyecto de grado de Rivas M. (2005), de la Universidad Simón Bolívar, titulado: “Diseño e implementación de un sistema de iluminación autónomo para espacios exteriores con celdas solares”, a través de una investigación cuantitativa de alcance exploratorio se realizó un estudio comparativo técnico y económico sobre el planteamiento de un sistema de iluminación fotovoltaico para áreas públicas en comunidades rurales o remotas. Dicha investigación incluyó: evaluación de los criterios para la elección del tipo de luminarias, comparación técnica de lámparas existentes en el mercado adecuadas para la aplicación, dimensionamiento del sistema fotovoltaico, diseño del poste de iluminación y presupuesto del sistema.

El estudio se rigió por la norma COVENIN 3290 basada en el diseño de alumbrado público. Asimismo se concluyó que los paneles fotovoltaicos cuentan con larga vida útil ya que el panel utilizado tenía 15 años de antigüedad. También se destacó que el costo de los paneles

solares disminuyó gracias al desarrollo de nuevas técnicas de fabricación, pero existe la consecuencia de disminución de eficiencia. Además recalcó la importancia de que otros estudios incursionen en el desarrollo de otras tecnologías de sistemas fotovoltaicos.

2.2 ENERGIAS EXISTENTES

Las fuentes de energía primaria se encuentran disponibles en la naturaleza en variadas formas (Viento, Biomasa, Agua en movimiento, Calor de la tierra, Radiación Solar, Carbón, Petróleo, Gas y Uranio). Por otra parte las fuentes de energía secundaria son el resultado de las transformaciones de las fuentes de energía primaria y no se encuentran presentes en la naturaleza como recursos, sino que son generados a partir de estos, por ejemplo la electricidad, el hidrogeno y los combustibles (Educ.ar, 2021).

Las fuentes de energía primaria pueden ser utilizadas por los seres humanos para realizar actividades, transformarlas, almacenarlas y transportarlas, asimismo según (Educ.ar, 2021) estas fuentes de energía se pueden dividir en dos (2) grupos:

- 1) Energías renovables: Aquellas que luego de ser utilizadas pueden regenerarse de forma natural o artificial, es decir, no se agotan. Además su obtención y uso no genera subproductos que incidan negativamente en el medio ambiente considerándose así como Energías Verdes, tales como la energía: Eólica, Biomasa, Hidráulica, Marina, Geotérmica y Solar.
- 2) Energías no renovables: Se encuentran de forma limitada en el planeta, caracterizadas por ser combustibles fósiles (Petróleo, Gas, Carbón) y a parte el Uranio; Si bien los combustibles fósiles tienen origen biológico y el Uranio no, estas fuentes de energía se consumen a una velocidad mayor a su regeneración,

asimismo son contaminantes para el medio ambiente ya que generan o contribuyen a la producción de: Gases de Efecto Invernadero, Cambio Climático, daño a la Capa de Ozono, residuos radioactivos, entre otros.

En la actualidad, debido a las consecuencias ambientales negativas que genera la utilización de fuentes de energía no renovables y el agotamiento de las mismas, se han creado acuerdos a nivel mundial que tienen como meta una transición energética hacia las energías renovables, entre los más importantes están:

La agenda 2030 de las Naciones Unidas que contiene los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), El Acuerdo de París, El Marco de Sendai, entre otros.

Dichos acuerdos se basan en el concepto de Desarrollo Sostenible, definido como “el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones, garantizando el equilibrio entre crecimiento económico, el cuidado del medio ambiente y el bienestar social” (ACCIONA, 2021).

Además según (Noticias ONU, 2020) debido a la caída de los precios del petróleo a nivel mundial producto de la crisis causada por el COVID-19, la tendencia global hacia las energías renovables continúa en aumento.

2.2.1 Energía Eólica

Se define como una fuente de energía renovable que utiliza la fuerza del viento para generar electricidad y se obtiene mediante el uso de aerogeneradores (Molinos) que mueven una turbina transformando la energía cinética del viento en mecánica y después en energía eléctrica (Antala Industria, 2018). Ver Figura 2.

La cantidad de energía que se puede obtener está en función del tamaño y tipo de aerogenerador, lo cual suele variar dependiendo del uso del mismo, ya sea comercial o doméstico. A mayor longitud de las aspas, se obtiene más potencia y por lo tanto más energía.

La energía del viento, está relacionada con el movimiento de las masas de aire desde zonas de alta presión atmosférica a zonas de menor presión. Estas zonas de distinta presión se deben al calentamiento desigual de la superficie terrestre producto de la radiación solar, por esta razón, el Sol es también responsable de la generación de energía Eólica (Antala Industria, 2018).



Figura 2 Parque Eólico De Waubra Australia (ACCIONA, 2021)

El proceso de transformación a energía eléctrica según (Antala Industria, 2018) se pone en marcha cuando las aspas de los aerogeneradores son movidas por el viento, transmitiendo energía cinética al eje al que están ancladas, este eje a su vez se encuentra conectado al multiplicador, cuya función es aumentar hasta 60 veces más la velocidad del eje del rotor, seguidamente, este transmite su movimiento al generador que produce la electricidad que se lleva hasta el transformador, finalmente el transformador ajusta el voltaje para pasar la electricidad a la red eléctrica.

Con respecto a la instalación de los parques eólicos (Twenergy, 2019) expone que deben cumplirse los requisitos de mantener la lejanía con los núcleos urbanos para evitar la contaminación acústica que producen, evitar la interferencia con señales electromagnéticas del entorno (telefonía, radio o televisión) y preservar la avifauna del lugar.

Una característica importante de la energía Eólica es que puede obtenerse instalando aerogeneradores tanto en suelo firme como en suelo marino, a esto último se le llama Energía Eólica Marina. Los parques eólicos marinos según (Iberdrola, 2021) cuentan con la ventaja respecto a los terrestres en que la fuerza del viento que se produce en alta mar es superior ya que alcanza una mayor velocidad y es más constante debido a la inexistencia de barreras como por ejemplo montañas. Asimismo al estar ubicado mar adentro, el impacto visual y acústico es muy pequeño, por lo que es posible el aprovechamiento de superficies muy extensas, gracias a esto, suelen tener varios cientos de megavatios de capacidad instalada. Con respecto a su instalación deben cumplirse los requisitos de ubicarse en aguas no muy profundas (Hasta 60 m de calado) y alejados de la costa, las rutas de tráfico marino, las instalaciones estratégicas navales y los espacios de interés ecológico.

Según (Antala Industria, 2019) en cuanto a los beneficios e inconvenientes de este tipo de energía se tienen entre los principales:

Ventajas:

- Es una energía renovable y limpia.
- Contribuye al desarrollo sostenible.
- La energía eólica está disponible en casi todo el planeta, por lo tanto fomenta la riqueza y la generación de empleo local.

- Es adaptable a casi cualquier espacio.
- Permite la producción a pequeña escala o nivel de usuario.

Desventajas:

- Falta de garantía en la existencia del viento debido a su aleatoriedad.
- La velocidad del viento no debe exceder el límite que puede soportar la turbina para evitar daños en la misma.
- Se deben construir líneas de alta tensión.
- Implica un impacto medioambiental por la muerte de aves y murciélagos.
- Impacto visual a paisajes naturales
- Impacto acústico.
- Ocupan grandes áreas de espacio.

2.2.2 Energía de Biomasa

La energía de biomasa o bioenergía es un tipo de energía renovable que proviene del aprovechamiento de la materia industrial y orgánica formada en algún proceso mecánico o biológico, generalmente es obtenida de los residuos de las sustancias que constituyen los seres vivos, o sus restos y residuos (Estructuras Bioclimáticas Avanzadas S.L, 2021).

La energía de la biomasa proviene en última instancia del Sol. Los vegetales y los animales absorben y almacenan una parte de la energía solar que llega a la tierra en forma de alimento y energía, cuando esto ocurre, también se crean subproductos que no sirven para los seres vivos ni pueden ser utilizados para fabricar alimentos, pero sí para hacer energía de ellos (Estructuras Bioclimáticas Avanzadas S.L, 2021).

Esta materia o subproductos son transformados en energía al aplicarle distintos procesos químicos, según (Fundación Endesa, 2019) los dos métodos más utilizados en la actualidad son:

- Métodos termoquímicos:

Es la manera de utilizar el calor para transformar la biomasa. Los materiales que funcionan mejor son los de menor humedad (madera, paja, cáscaras, entre otros) y se utilizan para la Combustión, Pirolisis, Gasificación y Co-combustión

- Métodos bioquímicos:

Se llevan a cabo utilizando diferentes microorganismos que degradan las moléculas. Se usan para biomasa de alto contenido en humedad, entre ellos están la Fermentación alcohólica y la Fermentación metánica.

La biomasa según (Estructuras Bioclimáticas Avanzadas S.L, 2021) es la única fuente de energía que aporta un balance de CO₂ favorable, siempre y cuando la obtención de la biomasa se realice de una forma renovable y sostenible, esto ocurre cuando el consumo del recurso se hace más lentamente que la capacidad de la Tierra para regenerarse, lo cual significa que se reduce el CO₂ que es enviado a la atmósfera porque parte del mismo se ha absorbido durante el crecimiento de la materia orgánica que se utilizó anteriormente para producirlo.

La bioenergía según (Fundación Endesa, 2019) puede ser utilizada para diversas aplicaciones, entre las cuales están:

- Producción de energía eléctrica.
- Producción de energía térmica.
- Producción de biocombustibles:

Son una alternativa a los combustibles tradicionales del transporte y tienen un grado de desarrollo desigual en diferentes países, entre ellos se encuentran:

1. Bioetanol.
2. Biodisel.
3. Biogas.

La biomasa se puede clasificar según (Fundación Endesa, 2019) en tres grandes grupos:

- Biomasa natural:

Es la que se produce en la naturaleza sin la intervención humana.

- Biomasa residual:

Son los residuos o subproductos orgánicos que provienen de las actividades humanas, por ejemplo: residuos sólidos urbanos (RSU), residuos agrícolas, residuos ganaderos, residuos de la industria agroalimentaria, residuos de la industria de la madera, así como residuos de depuradoras y el reciclado de aceites.

- Cultivos energéticos:

Son campos de cultivo donde se produce un tipo de especie concreto con la única finalidad de su aprovechamiento energético.

El proceso de funcionamiento de una central de biomasa de generación eléctrica según (Estructuras Bioclimáticas Avanzadas S.L, 2021) se centra en la quema de la biomasa en una caldera, dicha combustión calienta el agua que circula por la tuberías de las paredes de la caldera haciendo que se convierta en vapor, el cual se mueve a una turbina conectada a un generador eléctrico donde se produce la energía eléctrica que se transportará a través de la líneas correspondientes.

Según (Estructuras Bioclimáticas Avanzadas S.L, 2021) en cuanto a los beneficios e inconvenientes de este tipo de energía se tienen como los principales:

Ventajas:

- Es una energía renovable y limpia.
- Disminuye la dependencia de los combustibles fósiles.
- Ayuda a la limpieza de los montes y al uso de los residuos de las industrias.
- Existe un gran excedente de biomasa.

Desventajas:

- Los Rendimientos de las calderas de biomasa son algo inferiores a los de las calderas que usan combustible fósil líquido o gaseoso.
- Requiere sistemas de almacenamiento mayores.
- Muchos de estos recursos tienen elevados contenidos de humedad, lo que hace que pueda ser necesario un proceso previo de secado.
- Existe derivación de recursos alimenticios para la producción de Biomasa ya que produce mayores ingresos a nivel económico.

2.2.3 Energía Hidroeléctrica

Es una fuente de energía renovable que surge del aprovechamiento del agua de los ríos y la gravedad. Se produce a través de un desnivel de cotas y un caudal, inicialmente se utiliza la fuerza de la gravedad para proporcionar aceleración al agua y liberar toda la energía potencial que almacena, para después convertirla en energía mecánica gracias a una turbina y luego transformarla en energía eléctrica mediante un generador eléctrico.

La energía hidroeléctrica tiene al Sol como origen. La radiación solar en forma de calor evapora el agua de los mares formando las nubes, que a su vez se transformarán en lluvia o en nieve, asegurando así la perennidad del ciclo del agua.

Según (Bolinaga, 1999, p.743) las centrales hidroeléctricas cuentan con la ventaja de que no consumen el agua que utilizan para su funcionamiento, lo cual permite que la misma pueda ser utilizada con posterioridad a la generación eléctrica para el consumo doméstico e industrial, riego o navegación, además no son contaminantes, lo que las convierte en una opción atractiva para países con abundantes recursos hídricos, siempre que se gestionen adecuadamente los impactos y riesgos ambientales.

Existen diferentes tipos de central hidroeléctrica (Bolinaga, 1999), entre las cuales se encuentran:

- Centrales monolíticas con la toma:
Son aquellas que forman un sólo cuerpo con la obra de captación correspondiente.
- Centrales separadas a pie de presa:
Son centrales ubicadas en estructuras separadas de la presa u obra de derivación pero situadas al pie de ellas.
- Centrales remotas:
Similares a las centrales separadas a pie de presa, pero alejadas de la obra de captación.

El proceso básico de funcionamiento de una central hidroeléctrica separada a pie de presa, ver Figura3, según (Enel Green Power, 2021) comienza con contener la energía potencial del agua en un embalse, que normalmente se crea mediante una presa aguas arriba, luego un

conjunto de grandes tuberías es el encargado de permitir que el agua fluya aguas abajo, donde se encuentran las turbinas de la central eléctrica, gracias al desnivel creado por el recorrido de las tuberías, el agua aumenta progresivamente su energía y, una vez en la central, activa las turbinas que, conectadas mecánicamente a un generador, producen energía eléctrica, finalmente la electricidad pasa entonces a través de un transformador, que reduce la intensidad de la corriente y aumenta el voltaje para facilitar el vertido a la red eléctrica.

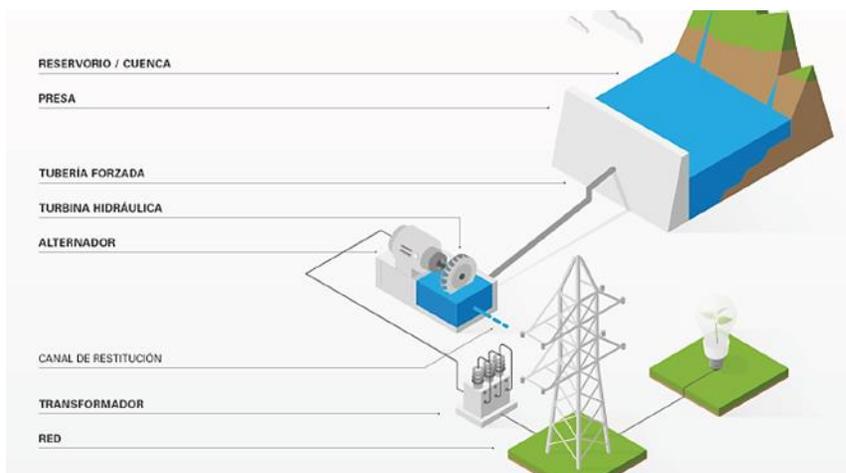


Figura 3 Esquema de central hidroeléctrica (Enel Green Power, 2021)

Según (Enel Green Power, 2021) en cuanto a los beneficios e inconvenientes de este tipo de energía se tienen como los principales:

Ventajas:

- Es una energía renovable.
- El agua usada se devuelve al ambiente (río) a una cota inferior.
- Es autóctona, es decir evita importaciones del exterior.
- Genera puestos de trabajo en su construcción, mantenimiento y explotación.

- Genera experiencia y tecnología, exportables a otros países

Desventajas:

- Altera el normal desenvolvimiento en la ecología del río.
- En centrales hidroeléctrica con embalse, los sedimentos se acumulan en el lago empobreciéndose de nutrientes el resto de río hasta la desembocadura.
- Altos costos de inversión inicial.
- Su construcción implica un impacto medioambiental.

2.2.4 Energía Marina

La energía marina es una energía renovable que cuenta con un conjunto de tecnologías que aprovecha la potencia de los océanos para generar electricidad de una forma limpia, entre las diversas alternativas se encuentran:

- Energía Mareomotriz:

Se conoce como el aprovechamiento de energía procedente de las mareas o lo que es lo mismo, al aprovechamiento del ascenso y descenso del agua del mar. Las mareas son el resultado de la atracción gravitatoria que ejercen el Sol y la Luna sobre nuestro planeta (Tipos de Energia, 2020).

Actualmente se emplean dos tipos de tecnologías:

1. Presas de Marea:

Según (OVACEN, 2021) puede estar ubicada en una bahía o un estuario, siempre y cuando el desnivel entre pleamar y bajamar sea de al menos 5 metros de altura para que sea rentable. El funcionamiento se basa en el almacenaje de agua en un embalse que se forma al edificar un dique con

unas compuertas que dejan la entrada al caudal a turbinar para la generación eléctrica, además se puede producir electricidad tanto con la entrada de agua en ciclo de ingreso de agua (Flujo), como en ciclo de egreso (Reflujo).

2. Sistema de Turbinas:

Consiste en el aprovechamiento de la energía cinética contenida en las corrientes marinas. El proceso de captación se fundamenta en convertidores de energía cinética afines a los aerogeneradores empleando instalaciones submarinas (OVACEN, 2021).

- Energía Undimotriz:

Es el aprovechamiento de la energía cinética y potencial producida por el movimiento de las olas para generar electricidad. El calentamiento desigual de la atmósfera terrestre genera vientos, cuya energía es transferida a la superficie marina, generando ondulaciones en la superficie del agua, cuya secuencia se puede sumar para producir el movimiento superficial periódico característico de las olas (Educar Chile, 2019; Enel Green Power, 2021).

El aprovechamiento de la Energía Undimotriz ha llevado a la construcción de múltiples géneros de máquinas con diferentes tecnologías para la generación eléctrica, según (Twenergy, 2019) las más utilizadas son:

1. Sistema Pelamis
2. Columna de Agua Oscilante
3. Sistema de Canal Cónico

- **Energía Maremotérmica:**

Se basa en el aprovechamiento de la energía térmica del mar para producir energía eléctrica, el sistema está basado en la diferencia de temperaturas entre la superficie del mar (entre 25 y 30 °C) y las aguas profundas (5 °C aproximadamente), siendo la diferencia de temperatura requerida para que la operación resulte económica alrededor de 20°C (OVACEN, 2021).

El sistema funciona con el ciclo termodinámico de Rankine, que opera de la siguiente forma según (Tavares, 2013): Las temperaturas existentes donde se ubican el evaporador (Superficie mar) y el condensador (Profundidad mar) son bajas, por lo tanto se debe escoger un fluido de trabajo cuya presión de vapor sea alta a esas temperaturas, por ejemplo el Propano o el Amoniaco.

El agua tibia de la superficie del océano se succiona hacia un evaporador, en donde se vaporiza el fluido de trabajo; el vapor pasa por una turbina que acciona un generador eléctrico y luego penetra en el condensador. Asimismo el agua fría que se bombea de las profundidades del océano mediante una tubería, se emplea para enfriar el fluido de trabajo que, al condensarse y volver al estado líquido, se bombea al evaporador y se inicia así un nuevo ciclo.

- **Energía Osmótica:**

También conocida como energía azul, está basada en el fenómeno natural de la ósmosis. Cuando el agua dulce de los ríos se encuentra con el agua salada del mar, se liberan enormes cantidades de energía que puede ser utilizada para la generación de electricidad (BBC News, 2009).

El método de funcionamiento más común se llama ósmosis por presión retardada y consiste en dos tanques, uno de agua dulce y otro de agua salada, divididos por una membrana semipermeable artificial, las moléculas de sal en el agua salada arrastran al agua dulce a través de los nanoporos de la membrana, lo que aumenta la presión en el tanque del agua salada y esto se utiliza para poner en marcha una turbina generadora de electricidad (Enérgya VM, 2017; BBC News, 2009).

Los sistemas de generación de energía marina según (Enel Green Power, 2021) se encuentran en una etapa inicial de desarrollo y están estrechamente unidos al desarrollo tecnológico, en este momento las mayores posibilidades de explotación del recurso, se centran en el aprovechamiento de la energía Undimotriz y la Mareomotriz.

Según (OVACEN, 2021) en cuanto a los beneficios e inconvenientes de este tipo de energía se tienen como los primordiales:

Ventajas:

- Es una energía renovable y no contaminante.
- Los cálculos sobre la producción de energía marina son muy precisos debido a que las variaciones de las olas y las mareas son bastante cuantificables.
- El puerto o las ciudades costeras están muy cerca de la fuente, por lo que se puede disfrutar rápidamente de los beneficios.
- La amplia variedad de tecnologías para generar energía marina permite su adaptación a diferentes contextos.
- Es silenciosa y por sus características no se ubica en zonas pobladas.

Desventajas:

- Su inversión inicial es muy alta.
- Es una fuente de energía relativamente nueva y los estudios de sus impactos acumulativos sobre los ecosistemas no han sido estudiados profundamente.
- Necesitan una localización específica, según el tipo de instalaciones, requieren ser construidas cerca de tierra firme que es donde se dan las diferencias más marcadas entre mareas, esto acarrea un impacto visual y ocupación de zonas costeras.

2.2.5 Energía Geotérmica

La energía geotérmica es una energía renovable que aprovecha el calor natural irradiado por el núcleo de la Tierra y que se ha concentrado en el subsuelo en lugares conocidos como reservorios geotermales para producir calor o electricidad (Centro de Excelencia en Geotermia de los Andes, 2020).

El magma, es uno de los principales elementos de un sistema geotermal, pero hacen falta dos más para generar un reservorio: un acuífero y un sello. El acuífero es una formación rocosa permeable, es decir, que permite que el agua u otros fluidos las traspasen y el sello es otra capa de rocas, pero impermeable. Estos tres elementos deben ir superpuestos uno sobre el otro, la fuente de calor, encima de ella el acuífero y sobre ellos la capa de rocas impermeable.

Cuando llueve, el agua se desliza por la superficie terrestre y penetra hacia el subsuelo a través de las fallas y rocas fracturadas, luego el agua queda atrapada en los acuíferos, por donde va circulando y calentándose, pero no puede salir al exterior en su totalidad, porque está cubierta por una capa de roca impermeable que le impide su paso, cuando estas condiciones se dan, se

está frente a un reservorio geotermal. En algunas ocasiones, no existen fuentes de agua natural (como lluvia o nieve) para generar este circuito, en ese caso, se puede inyectar el agua de forma artificial y el fenómeno que se producirá es el mismo (Centro de Excelencia en Geotermia de los Andes, 2020).

El proceso básico de funcionamiento de una central geotérmica según (Greenteach, 2020) es similar al de las centrales termoeléctricas que se basan en turbinas y generadores: el calor de una fuente de energía (El interior de la Tierra en este caso) se utiliza para calentar agua u otro fluido, el cual hace girar una turbina conectada a un generador que transforma esa energía en electricidad, posteriormente el fluido se enfría y es reinyectado de nuevo en los reservorios geotermiales, haciendo que el proceso sea parcialmente sostenible. Dicho proceso se esquematiza en la Figura 4.

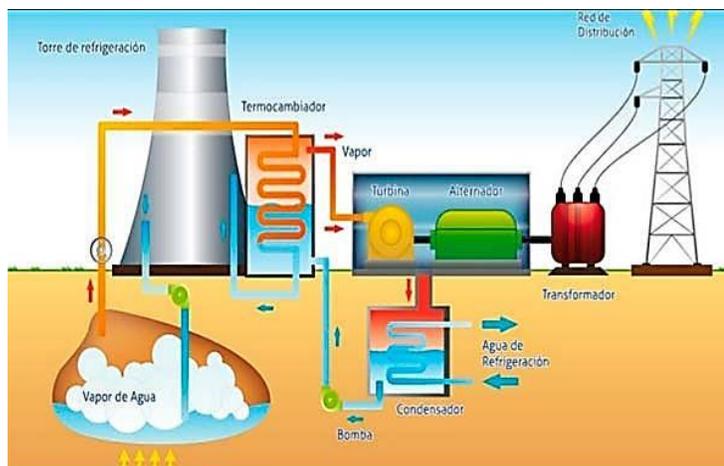


Figura 4 Esquema de funcionamiento de una central Geotérmica (Greenteach, 2020)

Se pueden distinguir tres tipos de centrales geotérmicas de generación de electricidad según (Greenteach, 2020):

- Centrales geotérmicas de vapor seco:

Poseen el diseño más simple y antiguo. Utilizan directamente el vapor geotérmico que sale de las fracturas del suelo a 150° C o más, para mover las turbinas de vapor.

- Central geotérmica de ciclo binario:

Son las centrales más recientes y pueden operar con temperaturas de solo 57°C y utilizan el ciclo Rankine y el ciclo de Kalina. El agua moderadamente caliente se hace pasar junto a otro fluido con un punto de ebullición muy inferior al del agua (Fluido de trabajo) el cual enseguida se vaporiza y se usa para accionar las turbinas.

- Central geotérmica de vapor de destello:

Este tipo de central hace ascender agua caliente a alta presión a través de pozos y la introducen en depósitos de baja presión, al disminuir su presión, parte del agua se vaporiza, este vapor se separa del líquido y se utiliza para accionar una turbina.

Según (Greentech, 2020) en cuanto a los beneficios e inconvenientes de este tipo de energía los más comunes son:

Ventajas:

- Es una energía renovable.
- Su producción es constante, es decir se puede obtener la misma energía a lo largo de las diferentes estaciones del año.
- Es independiente de las variaciones meteorológicas.
- Los residuos que produce son mínimos.

- Su coste de mantenimiento es bajo y tiene una larga vida útil.

Desventajas:

- La energía obtenida se debe consumir en el mismo territorio de su extracción.
- Posibles emisiones tóxicas, ya que en caso de accidente o fuga se puede liberar ácido sulfhídrico.
- Requiere de importantes inversiones en la fase inicial del proyecto.
- La energía geotérmica sólo está accesible en determinados lugares.
- Para poder explotar este tipo de energía es necesario perforar la superficie terrestre del yacimiento geotérmico con el consecuente deterioro del paisaje.

2.2.6 Energía Solar

Es la energía contenida en la radiación solar, este tipo de energía renovable se genera mediante reacciones de fusión nuclear en el Sol. La radiación viaja hacia la Tierra mediante la radiación electromagnética y posteriormente, puede ser aprovechada mediante la instalación de paneles solares y otros sistemas para obtener energía térmica o para la generación eléctrica (Planas, 2021).

En la actualidad la energía solar se puede clasificar en dos tipos:

- Energía Solar Pasiva:

Es el método más antiguo de aprovechamiento de la radiación solar, el objetivo es aprovechar la luz del sol de forma directa sin el uso de dispositivos mecánicos ni eléctricos, la termodinámica juega un papel fundamental en este aspecto debido a que la transferencia de calor y temperatura son la base de este sistema. Esta

técnica se realiza mediante un análisis preciso que permita la adecuada ubicación, diseño y orientación de los edificios aprovechando al máximo el clima local (Planas, 2015). Su premisa es emplear correctamente las propiedades de los materiales y los elementos arquitectónicos, además de saber gestionar el flujo de corrientes de aire dentro del edificio, para el cumplimiento de dos funciones:

1. Recolección, almacenamiento y distribución de energía solar en forma de calor en el invierno.
2. Disipar el exceso de calor solar en el verano.

La energía solar pasiva utiliza componentes para controlar el calor generado por el Sol, por ejemplo: la construcción de paredes, suelos, techos, ventanas, elementos de construcción exterior y paisajismo (Planas, 2015).

- **Energía Solar Activa:**

La energía solar activa clasifica las tecnologías relacionadas con el aprovechamiento de la energía solar que utilizan equipamientos mecánicos o eléctricos para mejorar el rendimiento o para procesar la energía obtenida ya sea convirtiéndola en energía eléctrica o mecánica (Planas, 2017).

Las aplicaciones de la energía solar activa se pueden clasificar de dos tipos:

1. **Energía solar térmica:**

Es el método mediante el cual se transforma la radiación solar en energía térmica (Calor) a través del uso de colectores solares. Se basa en el aprovechamiento de las propiedades de la termodinámica para aumentar la temperatura de un fluido aumentando su energía calorífica y por lo tanto su

entropía, en este tipo de aprovechamiento no se genera electricidad excepto en las centrales solares termoeléctricas (Planas, 2011).

Los colectores solares también llamados captadores solares son un tipo de panel solar cuya función es convertir la radiación del Sol en calor, existen diferentes tipos de colectores dependiendo de la temperatura de trabajo, la mayoría de los colectores solares se colocan sobre soportes fijos con una orientación calculada para que puedan captar la mayor cantidad de radiación solar durante el día y durante el año, sin embargo existen captadores con sistemas de seguimiento del Sol, es decir su posición e inclinación va variando al largo del día para mantener una posición perpendicular a la radiación solar recibida (Planas, 2011).

Existen tres tipos de energía solar térmica según (Planas, 2011):

a) Alta temperatura:

Se maneja en las centrales termosolares para la generación de electricidad y trabaja con temperaturas por encima de los 500° C. Básicamente el funcionamiento consiste en concentrar la radiación solar mediante diferentes espejos que son capaces de direccionarla a un punto específico: una torre donde se encuentra ubicado un tanque con agua en la cima, gracias a que el agua se calienta se genera vapor, el cual es capaz de accionar una turbina que está conectada a mecánicamente a un generador eléctrico.

b) Media temperatura:

Utilizan dispositivos que concentran la radiación solar para obtener mayores temperaturas. Se utilizan principalmente para aplicaciones que demanden entre 125° C y 400° C.

c) Baja temperatura:

Utiliza la energía térmica directamente y es capaz de proveer calor útil a temperaturas menores de 65° C, se utiliza para aplicaciones de uso doméstico (agua caliente y calefacción), calentamiento de piscinas y para usos industriales que requieren agua caliente con baja temperatura.

2. Energía solar fotovoltaica:

También conocida como energía fotoeléctrica, es una energía renovable que a través del efecto fotovoltaico transforma la radiación solar en electricidad, para dicha transformación se utilizan paneles solares compuestos de células fotovoltaicas, dichas células están formadas por un material semiconductor que posee electrones sensibles a la radiación solar, el material más común es el Silicio (Planas, 2009).

Los materiales semiconductores tienen la particularidad de presentar un comportamiento diferente ante la electricidad, ya que dependen de si una fuente energética externa tal como la radiación solar los estimula o no, esto se puede explicar mediante el llamado efecto fotovoltaico, el cual inicia en el momento en el que un fotón (Partícula de luz radiante) impacta con un electrón de la última órbita de un átomo del material semiconductor (Silicio),

éste último electrón se llama electrón de valencia y recibe la energía con la que viajaba el fotón, si la energía que adquiere el electrón supera la fuerza de atracción del núcleo del átomo (energía de valencia), el electrón saldrá de su órbita y quedara libre del átomo, seguidamente los electrones que se liberan van a otros átomos donde hay espacios libres (Planas, 2015).

El movimiento de estos electrones es lo que se conoce como corriente de carga, dicha corriente puede alcanzar los contactos y salir del material con el fin de realizar un trabajo útil, para que esto suceda de manera constante y regular, es necesario que exista la presencia de un campo eléctrico de polaridad constante, ver Figura 5. En las células solares el campo eléctrico se forma al combinar dos capas de material semiconductor, pero con cargas eléctricas opuestas (Planas, 2015).

Mientras más energía solar reciba una célula, mayor será la energía eléctrica que se generará ya que el número de electrones conductores que se crean serán más numerosos.

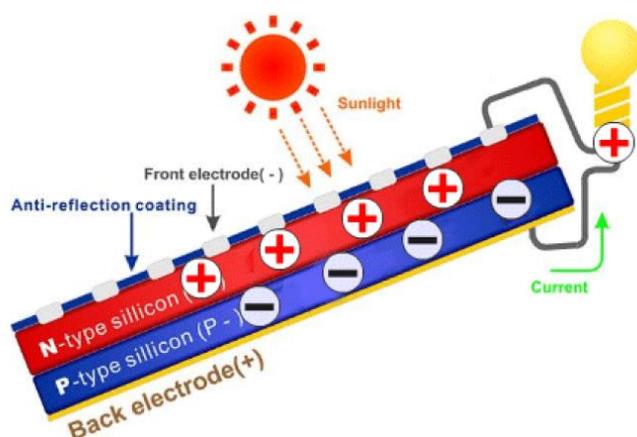


Figura 5 Esquema del efecto fotovoltaico en panel solar (Serrano, 2015)

La producción de energía fotovoltaica puede ser a gran escala o a pequeña escala, además puede combinarse con otras fuentes de energía.

Según (Planas, 2009) los principales usos de la energía solar fotovoltaica son los siguientes:

- a) Generar electricidad para la venta en la red eléctrica.
- b) Sistemas autónomos de iluminación.
- c) Señalización mediante energía fotovoltaica.
- d) Electrificación rural.
- e) Sistemas fotovoltaicos relacionados con las telecomunicaciones.
- f) Explotaciones agrícolas y ganaderas.

Las instalaciones fotovoltaicas pueden ser acopladas en el suelo, en azoteas, en techos o paredes, además pueden ser flotantes (dispuestas en agua). El soporte puede ser fijo o usar un seguidor solar para estar siempre orientados al Sol (Planas, 2009).

A pesar que las características son distintas en instalaciones solares fotovoltaicas y en instalaciones solares térmicas, se trataran las ventajas y desventajas de forma global, según (Planas, 2021) las principales son:

Ventajas:

- Es una energía renovable.

- Baja contaminación y respeto al medio ambiente.
- Favorable para sitios aislados.
- Costes en mantenimiento bajos.
- Se puede vender la sobreproducción de la energía solar fotovoltaica conectada a la red.

Desventajas:

- El rendimiento está en función de la climatología.
- Limitaciones en el horario solar que varía dependiendo de la época del año.
- La eficiencia energética es pobre comparada con otros tipos de energía.
- Limitaciones para almacenar la energía generada por las placas solares.
- Impacto ambiental en las grandes instalaciones solares.

2.2.7 Ventajas y Desventajas de las Energías Renovables

A pesar de que las energías renovables cuentan con características diferentes es importante conocer las ventajas y desventajas que comparten, según (Nexe Energetic, 2019; Ruíz, 2020) estas son las más representativas:

Ventajas:

- Son ilimitadas: lo que permite utilizarlas de forma continuada y a largo plazo sin problemas de disponibilidad o escasez.
- Permiten la producción a pequeña escala o nivel de usuario.
- Favorecen la producción descentralizada, reduciendo pérdidas eléctricas en sistemas de transporte de energía.

- No generan gases de efecto invernadero.
- No generan residuos tóxicos o de difícil tratamiento.
- Generan puestos de trabajo a nivel local en los lugares donde se implementan.
- Favorecen la independencia energética de países no productores de combustibles fósiles.

Desventajas:

- La inversión inicial supone un gran movimiento de dinero y la rentabilidad no suele llegar a corto plazo.
- Algunas fuentes de energía renovable son intermitentes, por lo que sólo producen energía en determinadas condiciones y necesitan otras fuentes de apoyo para garantizar una producción continua.
- No están disponibles en todas las ubicaciones, cada zona dispone de mejores recursos naturales de una fuente u otra para la obtención de energía.
- Algunas fuentes de energía renovable, necesitan de grandes construcciones que afectan el ecosistema donde se ejecutan dichas instalaciones, no obstante, su impacto ambiental, es siempre menor, al producido por las centrales de generación eléctrica convencional.
- Dependiendo de la fuente de energía renovable, necesitan de un gran espacio para poder desarrollarse, o suponen disponer de un gran sistema para que surja algún efecto.

2.3 RADIACIÓN SOLAR

Es la energía emitida por el Sol, la cual se genera a partir de las reacciones nucleares de fusión que se producen en el núcleo solar, estas a su vez producen radiación electromagnética en varias frecuencias o longitudes de onda las cuales conforman un espectro luminoso, el cual se propaga en el espacio a la velocidad de la luz y recorre una distancia de 150 millones de kilómetros del Sol a la Tierra en aproximadamente 8 minutos. El Sol transfiere en cada segundo la cantidad de 1367 J (Joules o Julios) en cada metro cuadrado del diámetro de la Tierra, esto corresponde a una potencia de 1367 W (vatios o watts) por metro cuadrado, valor que recibe el nombre de "Constante Solar" y se mide en la parte externa de la atmósfera terrestre (Uherek, 2013).

El valor de la constante solar se reduce al llegar a la superficie terrestre debido a que la intensidad y frecuencia del espectro luminoso generado por el Sol sufre un proceso de debilitamiento al cruzar la atmósfera ya que es sometido a fenómenos de reflexión, refracción, absorción y difusión por los diversos gases atmosféricos en un grado variable en función de la frecuencia, aproximadamente la mitad de la radiación solar atraviesa la atmósfera sin alteraciones y se conoce como radiación neta (Planas, 2020).

El espectro de radiación solar contiene tres tipos de rayos, ver Figura 6:

- El 49% son rayos infrarrojos (IR) que proporcionan calor.
- El 43% son rayos visibles (VI) que proporcionan luz.
- El 7% son rayos ultravioleta (UV).
- El 1% son otros tipos de rayos.

La radiación solar proporciona luz, calor, es generadora de corrientes de aire, es decir, del viento, interviene en el proceso de la fotosíntesis, permitiendo el crecimiento de la vegetación y también el ciclo del agua (Serrano, 2015).

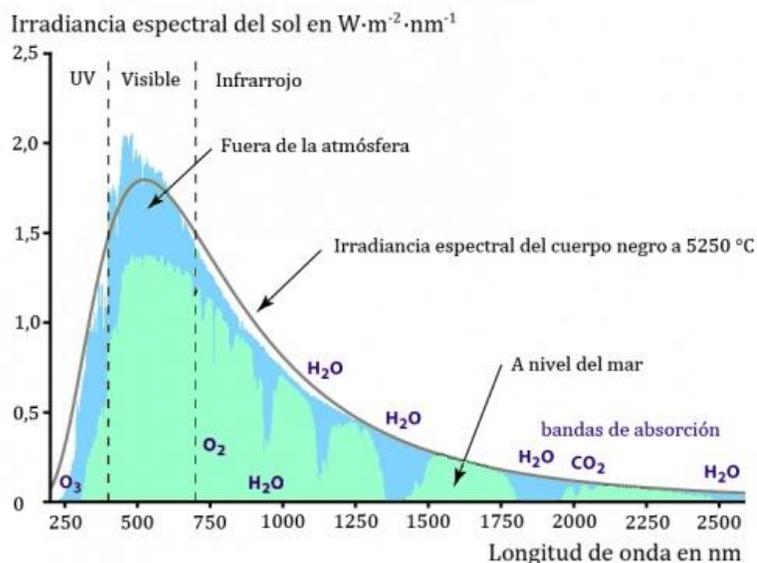


Figura 6 Espectro de radiación solar (ECYT-AR, 2017)

Según (Carbonell, 2020) existen tres tipos de radiación solar, ver Figura 7:

- **Directa:**
Es la que proviene directamente del sol, sin sufrir cambios de dirección.
- **Difusa:**
Es la que recibimos a través de la atmósfera como consecuencia de la dispersión de parte de la radiación del sol en la misma. Las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben.
- **Reflejada:**
Como su propio nombre indica, es la radiación que es reflejada por la superficie terrestre, la cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la

superficie, también llamado albedo. Las superficies verticales son las que más reciben este tipo de radiación.

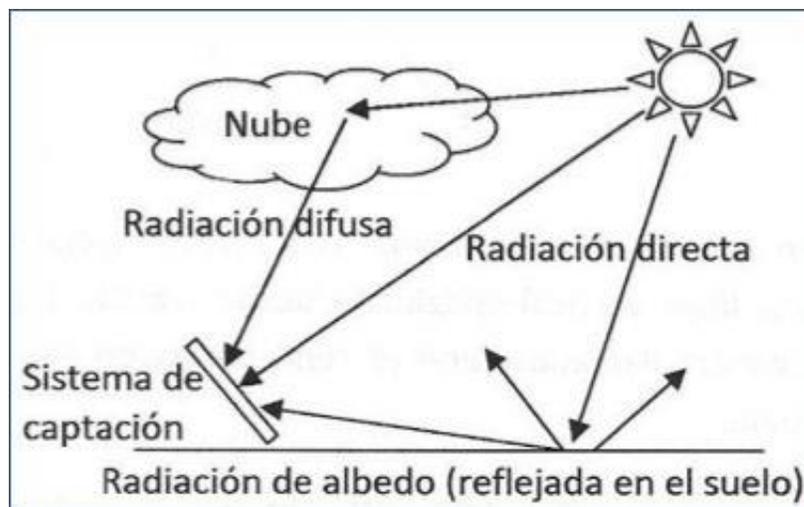


Figura 7 Tipos de radiación solar (Carbonell, 2020)

2.3.1 Irradiancia e Irradiación Solar

La irradiancia es la magnitud que describe la potencia de la radiación solar que incide en un instante sobre un área determinada y se expresa en W/m^2 , mientras que la irradiación se refiere a la cantidad de radiación que incide durante un período de tiempo (horas, días, meses, años) sobre una superficie determinada, es decir, energía por unidad de área y se expresa en Wh/m^2 (Alonso, Radiación, Geometría, Recorrido óptico, Irradiancia y HSP, 2019).

La grafica de irradiancia solar versus tiempo será distinta para cada espacio geográfico, además su función será describir la variación de la potencia de la radiación solar por metro cuadrado a lo largo del día y representará a la irradiación solar como el área bajo la curva, ver Figura 8:

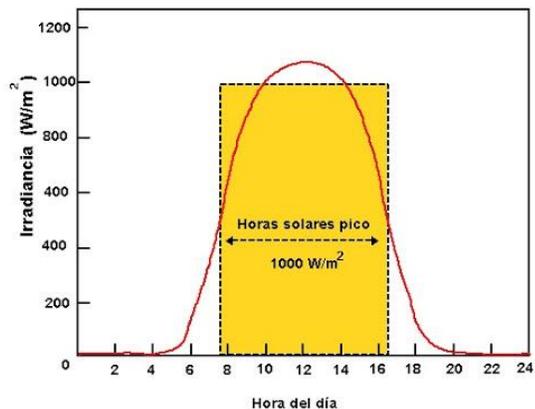


Figura 8 Gráfica irradiancia vs tiempo (AulaFacil, 2021)

$$H = E * T$$

Ecuación 1 Irradiación solar (Alonso, 2019)

E = Irradiancia solar (W/m^2).

T = Tiempo (horas).

2.3.2 Masa de Aire

Se refiere a una medida indicativa del espesor de atmósfera que ha tenido que recorrer la radiación antes de llegar a la superficie terrestre, dicha distancia variará con la altura solar, de modo que cuando la altura solar sea 90° (incida totalmente vertical al lugar) la masa de aire equivaldrá a la unidad ($AM = 1$), mientras que si disminuye la altura solar el espesor de aire que tendrá que atravesar la radiación será mayor y como consecuencia disminuirá la cantidad de energía que finalmente llega a la superficie de la Tierra (SESLab, 2015). La masa de aire se relaciona con el ángulo cenital mediante la siguiente expresión, ver Figura 9:

$$AM = \frac{1}{\cos \varphi}$$

Ecuación 2 Masa de aire (SESLab, 2015)

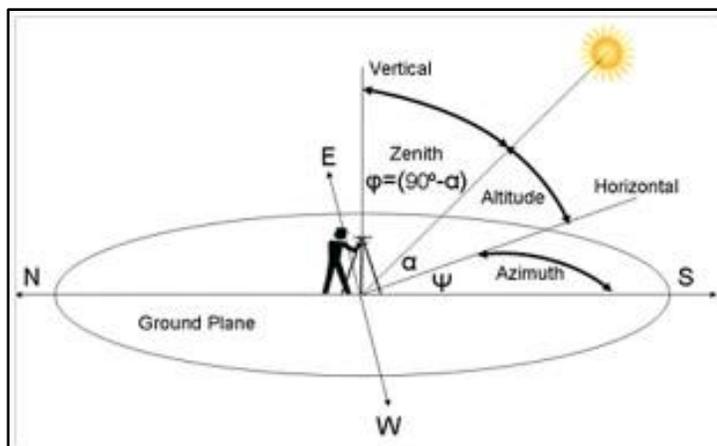


Figura 9 Geometría Solar para cálculo de paneles solares (Gómez, 2021)

Dónde:

φ = Ángulo Cenital.

α = Altura Solar.

ψ = Azimut Solar.

2.3.3 Día Solar Pico

El concepto de hora solar pico (HSP) se refiere al número de horas equivalentes que tendría que brillar el Sol a una intensidad 1000 W/m^2 (irradiancia) para obtener la irradiación total de un día. Este parámetro también permite simplificar los cálculos de dimensionamiento de sistemas solares (ClickRenovables, 2015).

Para calcular el valor de HPS se debe dividir el valor de la irradiación incidente del sitio de estudio entre el valor de la potencia de irradiancia en condiciones estándar de medida 1000 W/m^2 , pues es en esas condiciones donde se cumplen las características eléctricas de los módulos fotovoltaicos (Alonso, Radiación, Geometría, Recorrido óptico, Irradiancia y HSP, 2019).

$$HSP = \frac{\text{Promedio Irradiación Diaria } \frac{Wh}{m^2}}{1000 \frac{W}{m^2}}$$

Ecuación 3 Hora solar pico (Alonso, 2019)

2.4 PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO

También conocido como módulo solar, es un elemento de las instalaciones solares fotovoltaicas que aprovecha la energía del Sol para generar electricidad en forma de corriente continua gracias al efecto fotovoltaico y está conformado por multitud de celdas, llamadas células fotovoltaicas conectadas entre sí en serie o paralelo (Autosolar, 2015). La dimensión de los paneles solares está determinada por el número de celdas que lo componen por lo que existe amplia variedad en el mercado.

2.4.1 Estructura del Panel Fotovoltaico

El panel cuenta con otros elementos a parte de las células solares, que hacen posible la adecuada protección del conjunto frente a los agentes externos; Asegurando una rigidez suficiente, posibilitando la sujeción a las estructuras que lo soportan y permitiendo la conexión eléctrica, según (Planas, 2016) estos elementos son:

- Cubierta exterior:

Su función principal de proteger, debido a que es la parte que sufre la acción de los agentes atmosféricos. Se utiliza el vidrio templado con bajo contenido en hierro, ya que presenta una buena protección contra los impactos y es muy buen transmisor de la radiación solar.

- Capas encapsulantes:

Son las encargadas de proteger las células solares y sus contactos ya que aportan cohesión al conjunto del panel al rellenar el volumen existente entre las cubiertas frontal y trasera, amortiguando así las vibraciones e impactos que se pueden producir. Los materiales empleados como el Etil Vinil Acetileno (EVA) proporcionan una excelente transmisión a la radiación solar, así como una nula degradación frente las radiaciones ultravioletas.

- Protección posterior:

Su misión consiste en proteger contra los agentes atmosféricos, ejerciendo una barrera contra la humedad. Normalmente se utilizan materiales acrílicos como Policloruro de Vinilo (PVF) ó EVA.

- Marco metálico:

El marco de apoyo es la parte que da robustez mecánica al conjunto. El marco de apoyo de un panel solar permite su inserción en estructuras que agruparán a módulos. El marco, normalmente, es de aluminio.

- Cableado y bornes de conexión:

Su función es establecer el circuito eléctrico, están protegidos del exterior por medio de cajas estancas.

- Diodo de protección:

Su misión es proteger contra sobrecargas u otras alteraciones de las condiciones de funcionamiento de panel.

2.4.2 Célula Fotovoltaica

También conocida como célula fotoeléctrica, ver Figura 10. Es un dispositivo eléctrico que convierte la energía incidente de la radiación solar en electricidad a través del efecto fotovoltaico y el principal componente de la célula fotovoltaica es el Silicio, un elemento muy abundante en la corteza terrestre. Para que se genere un campo eléctrico capaz de hacer salir a los electrones de la célula debe existir polarización de dos zonas de la célula fotovoltaica, formando así una diferencia de carga eléctrica, los dopantes más comunes son el Boro (p-tipo ó positivo) y el Fósforo (n-tipo ó negativo), generalmente la parte superior de la célula tiene un carácter negativo y el resto positivo, formando así la unión p-n (Planas, 2016).

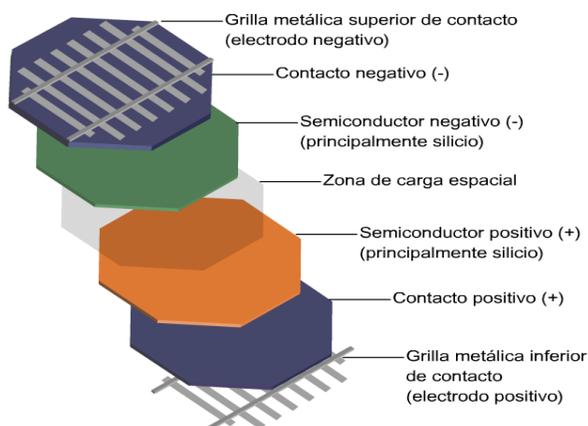


Figura 10 Estructura de célula fotovoltaica (Ortiz, 2016)

En la actualidad existen muchos tipos de células fotovoltaicas las cuales poseen diversas características según sus componentes, la mayoría de ellas se fabrican a partir de Silicio, sin embargo, en los últimos años, el desarrollo de la industria fotovoltaica ha permitido que algunos fabricantes centren sus esfuerzos en buscar otras tecnologías con el fin de reducir costes y mejorar la eficiencia, dentro de las más conocidas se encuentran:

- Silicio Monocristalino (M-Si):

Está constituida por un único cristal de silicio con estructura muy uniforme, se trata de un material de alta pureza que garantiza un rendimiento superior al resto de tecnologías ya que los átomos de silicio están perfectamente alineados facilitando así la conductividad, estas células son reconocibles por tener un color homogéneo azul oscuro, además se fabrican mediante lingotes que adoptan una forma cilíndrica una vez solidificados, pero suelen presentarse con una forma cuadrada, con las esquinas biseladas. Se utilizan para sistemas fotovoltaicos y se recomienda su uso en climas fríos ya que tienden a absorber mejor la radiación y soportan menos el sobrecalentamiento, asimismo pueden tener una eficiencia de 20 % a 22% aproximadamente (HelioEsfera, 2019).

- Silicio Policristalino (P-Si):

Está formada por muchos cristales de silicio. Su proceso de fabricación es más económico pero su rendimiento también es algo menor, estas células son reconocibles por tener una superficie y color irregular, además en su fabricación se vierte el silicio en moldes cuadrados por eso se presentan como células totalmente cuadradas. Se utilizan para sistemas fotovoltaicos y se recomienda su uso en climas cálidos, pues absorbe el calor a una mayor velocidad y le afecta en menos medida el sobrecalentamiento, pueden tener una eficiencia de 14% a un 16% aproximadamente (HelioEsfera, 2019).

- Arseniuro de Galio (GaAs):

Es otro material que actúa como semiconductor el cual posee un coeficiente de absorción de luz solar elevado, pero es escaso en el medio ambiente lo que lo hace

costoso. Se usa más comúnmente en células solares para paneles solares en la industria aeroespacial, ya que se da prioridad a la eficiencia sobre el costo, además son capaces de alcanzar un 25% de eficiencia aproximadamente (ATERSA, 2019).

- Células de capa delgada (Thin-Film):

Es una célula solar de segunda generación que se fabrica depositando una o más capas delgadas de material fotovoltaico sobre un sustrato, como vidrio, plástico o metal, esto permite que las células de capa delgada sean flexibles y de menor peso, además son más fáciles de fabricar y tienen un menor costo que el silicio cristalino (c-Si) pero tienen un rendimiento inferior y una degradación algo más rápida en su vida útil. No es muy viable usarlas en equipos fotovoltaicos generalmente se usan en calculadoras y equipos que no requieran mucha energía (HiSoUR, 2019).

En la fabricación de células de capa delgada se están empezando a utilizar otro tipo de materiales semiconductores y generalmente se clasifican de acuerdo con el material fotovoltaico utilizado (HiSoUR, 2019):

1. Silicio Amorfo (a-Si):

Absorbe una amplia gama del espectro de luz, que incluye infrarrojos e incluso algunos ultravioletas y funciona muy bien con luz débil, pudiendo alcanzar el 10% de eficiencia.

2. Telururo de cadmio (CdTe):

La rareza del telurio (el Telururo es la forma aniónica) en la corteza terrestre contribuye significativamente al costo. Con este material se ha llegado a alcanzar el 16% de eficiencia

3. Diseleniuro de galio indio y cobre (CIS ó CIGS):

Posee un alto coeficiente de absorción de luz solar, por esta razón se requiere una capa mucho más delgada que la de otros materiales semiconductores y es capaz de alcanzar un porcentaje muy elevado de eficiencia, casi del 20%.

Otras tecnologías de células de capa delgada que aún se encuentran en una etapa temprana de investigación y con disponibilidad comercial limitada se clasifican como células fotovoltaicas emergentes o de tercera generación e incluyen células solares sensibilizadas por colorante (DSC) y otras células solares orgánicas (HiSoUR, 2019).

2.4.3 Parámetros Fundamentales de la Célula Solar

Los fabricantes de equipos fotovoltaicos se encargan de proporcionar una ficha técnica donde se encuentran especificados aquellos parámetros que son de utilidad tanto para elegir un panel solar como para realizar el diseño de la instalación, cabe destacar que los valores proporcionados por el fabricante son obtenidos siempre en unas determinadas condiciones de irradiación solar y temperatura ambiente, según (Carmona & Díaz, 2018) dentro de los parámetros más importantes se encuentran:

- Corriente de cortocircuito (I_{sc}):

Máximo valor de corriente que puede circular por la célula solar, se da cuando la célula está en cortocircuito.

- Tensión de circuito abierto (V_{oc}):

Es la máxima tensión que se obtiene en los extremos de la célula solar, que se da cuando no está conectada a ninguna carga, es una característica del material del que está hecha la célula.

- Potencia máxima (P_m):

Es el producto del valor de tensión máxima (V_m) e intensidad máxima (I_m) para los que la potencia entregada a una carga es máxima.

$$P_m = V_m * I_m$$

Ecuación 4 Potencia máxima (Carmona & Díaz, 2018)

- Factor de Forma (FF):

Es el cociente entre la máxima potencia que puede entregar la célula a la carga y el producto de la tensión de circuito abierto (V_{oc}) y la corriente de cortocircuito (I_{sc}).

$$FF = \frac{V_m * I_m}{V_{oc} * I_{sc}} = \frac{P_m}{V_{oc} * I_{sc}}$$

Ecuación 5 Factor de forma (Carmona & Díaz, 2018)

- Eficiencia de conversión (n):

Es la cantidad de potencia de radiación incidente sobre el panel que es capaz de convertirse en potencia eléctrica. Se define como el cociente de la potencia máxima (P_m) y la radiación incidente sobre la célula (P_l).

$$n = \frac{P_m}{P_l}$$

Ecuación 6 Eficiencia de conversión (Carmona & Díaz, 2018)

La curva característica de un panel solar Intensidad vs Voltaje representa el comportamiento eléctrico de una célula fotovoltaica, ver Figura 11:

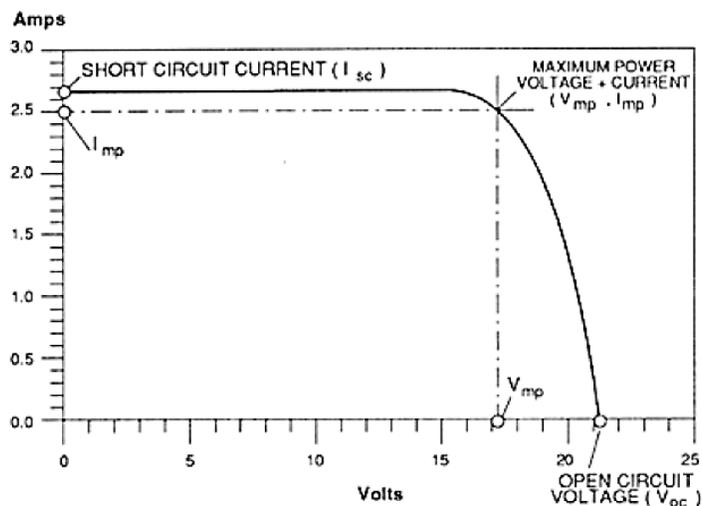


Figura 11 Curva Intensidad vs Voltaje (Eliseo, 2018)

2.5 SISTEMA FOTOVOLTAICO

Un sistema fotovoltaico es el conjunto de equipos que sirven para aprovechar la energía solar y convertirla en electricidad, estos sistemas se basan en la capacidad que tienen las celdas fotovoltaicas de transformar la luz solar en energía eléctrica.

El generador solar compuesto por un grupo de paneles solares capta la radiación solar y la transforma en energía eléctrica, específicamente corriente continua. Debido a que se requiere satisfacer la demanda a cualquier hora del día se utilizan baterías para almacenar la energía, en consecuencia del proceso de carga y descarga que sufren las baterías es necesaria la utilización de un regulador para asegurar que no haya sobrecargas o descargas excesivas que influyan negativamente en su funcionamiento, seguidamente se utiliza un inversor para transformar la corriente continua almacenada a corriente alterna necesaria para el uso doméstico o industrial.

2.5.1 Tipos de Sistemas Fotovoltaicos

- Aislado:

También conocido como sistema autónomo, es una instalación que no está conectada a la red general de distribución eléctrica, por lo tanto, toda la energía que se consume está producida “in situ” por los paneles solares, ver Figura 12. Normalmente requiere el almacenamiento de la energía fotovoltaica generada en acumuladores solares (baterías) lo que permite la disponibilidad de energía durante las 24 horas del día, este sistema es ideal en regiones donde la conexión a la red eléctrica no es posible o no está prevista debido a los altos costes de desarrollo de la construcción de los sistemas eléctricos de la línea, especialmente en las zonas rurales remotas (Krannich Solar, 2021; HelioEsfera, 2019).

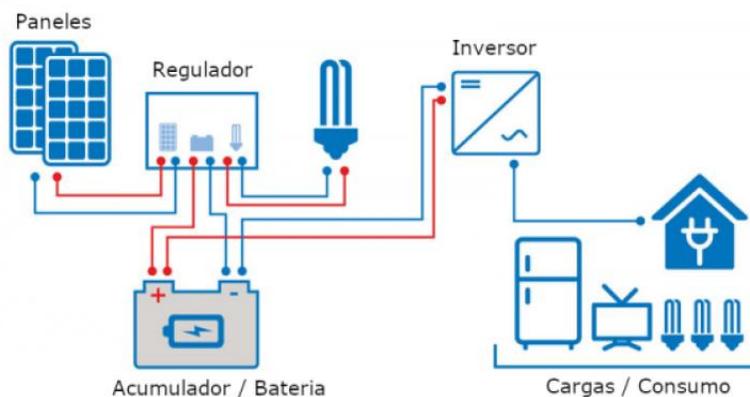


Figura 12 Esquema de instalación fotovoltaica aislada (HelioEsfera, 2019).

- Interconectado:

Este tipo de instalación de energía solar funciona como si fuera una central de producción de electricidad, ver Figura 13. Si es necesario el sitio de consumo puede extraer energía de la red eléctrica en momentos como los días nublados o en la noche cuando los paneles solares no están produciendo con la máxima

eficiencia, de la misma manera, si se genera más energía de la necesaria para el consumo, ese exceso de energía será inyectado a la red, en la mayoría de los casos se tiene que realizar un contrato con la compañía de electricidad local para la verificación de que el sistema cumpla con las regulaciones. Estos sistemas a veces son más económicos ya que no requieren de un banco de baterías, que en ocasiones son los dispositivos más costosos del sistema aislado y los que mayor mantenimiento requieren (Alcubierre, 2019; Dexen Energy, 2021).

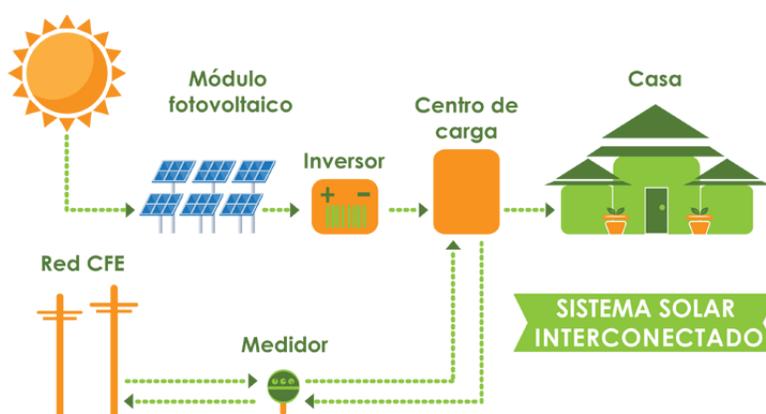


Figura 13 Esquema de instalación fotovoltaica interconectada (IMAGO, 2015).

- **Híbrido:**

Es aquel que combina la energía solar con otro tipo de energía en una misma instalación o sistema dedicado a generar electricidad, ver Figura 14. Las combinaciones en el caso de la energía solar híbrida pueden ser diversas, las más comunes son las instalaciones que utilizan energía solar y diesel, o energía solar y energía eólica (Enérgya VM, 2020). También existen sistemas híbridos interconectados a la red.

Para gestionar adecuadamente los dos tipos de energía que se usen es necesaria la utilización de un inversor solar híbrido, un aparato capaz de gestionar la energía proveniente de varios sistemas (Enérgya VM, 2020).

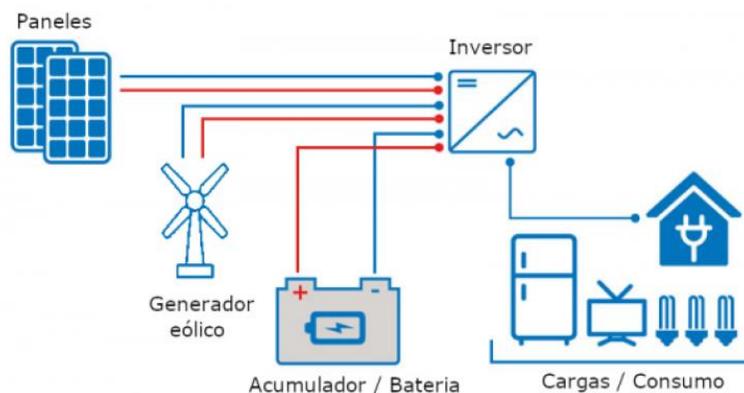


Figura 14 Esquema de instalación fotovoltaica híbrida (HelioEsfera, 2019).

2.5.2 Procesos del Sistema Fotovoltaico

- Generación:

Se lleva a cabo por un grupo de paneles fotovoltaicos, encargados de captar la radiación luminosa del sol y transformarla en corriente continua. El número de paneles y su tipo de configuración dependerá de las especificaciones técnicas de los mismos, la demanda a satisfacer y el tipo de irradiación existente en el sitio.

- Regulación:

Para que funcione correctamente una instalación solar fotovoltaica, se ha de instalar un sistema de regulación de carga en la unión entre los paneles solares y las baterías, dicho elemento recibe el nombre de regulador y tiene como función evitar situaciones de carga y sobrecarga de la batería, con la finalidad de alargar su vida útil. Con respecto al proceso de carga, su misión es garantizar la suficiente para el acumulador, además de evitar situaciones de sobrecarga y con respecto a

la descarga se ocupará de asegurar el suministro eléctrico diario suficiente y evitar la descarga excesiva de la batería (Carmona & Díaz, 2018).

Dado que los módulos solares tienen una tensión nominal mayor que la de la batería, si no existiera regulador se podrían producir sobrecargas.

El motivo de que la tensión nominal en los paneles sea así se debe a dos razones:

1. Atenuar posibles disminuciones de tensión por el aumento de la temperatura.
2. Asegurar la carga correcta de la batería. Por ello la tensión (V_{oc}) del panel deberá ser mayor que la tensión nominal de la batería.

El regulador también debe proteger tanto a la instalación como a las personas que lo manejen, por lo que tendrá integrado sistemas que proporcionan medidas de seguridad adecuadas para cada uno de los casos (Carmona & Díaz, 2018).

Los fabricantes proporcionan una ficha técnica con los valores de trabajo del regulador, generalmente aparecen:

1. Características físicas:

Peso, dimensiones y tipo de material usado para su construcción.

2. Características eléctricas:

- a) Tensión nominal: Es la tensión de trabajo de la instalación, y se corresponde con la tensión nominal de las baterías.
- b) Intensidad máxima en generación: Será la recibida desde los módulos solares.
- c) Intensidad máxima de consumo: Intensidad a proporcionar a la parte de la instalación donde se van a conectar los equipos del usuario

- d) Pérdida máxima de generación: Es un valor relacionado con las caídas de tensión internas.
- e) Autoconsumo: Cantidad de energía que necesita el regulador para su propio funcionamiento.
- f) Sobrecarga: Porcentaje sobre el valor nominal que aguanta el regulador sin romperse.

3. Características de seguridad:

Alarmas ante un mal funcionamiento, protecciones añadidas y temperatura de trabajo del aparato.

- Almacenamiento:

La llegada de la radiación solar a los paneles fotovoltaicos no se produce de manera uniforme, sino que presenta variaciones por diferentes motivos como la duración de la noche o las estaciones del año, pero existen otras causas que pueden generar alteraciones de manera aleatoria en la energía recibida, tales como el aumento de la nubosidad en un determinado instante, por estas razones se utilizan sistemas de almacenamiento de energía tales como baterías, estas son dispositivos capaces de transformar la energía química en eléctrica. Para diseño fotovoltaico se usan baterías de ciclo de descarga profunda, las cuales están diseñadas para abastecer energía sostenida durante un período prolongado de manera segura hasta que se descargue 80% o más, momento en el que debe recargarse (Carmona & Díaz, 2018).

Las baterías se clasifican en función de la tecnología de fabricación y de los electrolitos utilizados, los principales tipos de baterías que hay en el mercado son:

Ion Litio, Níquel-Cadmio, Níquel-Metal Hidruro y Plomo-Acido, siendo estas últimas las más utilizadas para los sistemas fotovoltaicos.

Los diferentes tipos de baterías solares más empleadas en las instalaciones fotovoltaicas según (Carbonell, 2020) son:

1. Baterías Monoblock:

Es el tipo de batería solar más barata y más sencilla, está pensada para pequeñas instalaciones solares, donde se busque una relación calidad-precio equilibrada. En cuanto a su mantenimiento, se hace de manera anual (se controla el nivel de electrolito) y no pueden ser instaladas en lugares cerrados sin ventilación ya que generan evaporación de gases.

2. Baterías AGM:

También conocida como batería de placa de vidrio absorbida, están construidas con el electrolito inmovilizado, mediante unas placas con esteras de fibra de vidrio muy fina, y unas válvulas de regulación de gases para evitar pérdidas, es decir está pensada para pequeñas instalaciones fotovoltaicas en las que realizar el mantenimiento sería muy difícil o costoso.

3. Baterías Estacionarias:

Poseen una vida útil bastante larga, son perfectas para instalaciones que requieran un consumo diario y durante largos períodos de tiempo, hay varios tipos con diferentes capacidades, lo que las hace adaptable a diferentes instalaciones solares.

4. Baterías de Gel:

Destacan por su gran durabilidad, por no necesitar mantenimiento ni emitir gases nocivos. El electrolito está absorbido por un gel, por lo que no conlleva peligro de derrame, además no genera vapores, son muy útiles para instalaciones solares fotovoltaicas aisladas.

5. Baterías de Litio:

Ocupan poco espacio, pesan poco y no emiten gases, por lo que se pueden poner en cualquier sitio, además el tiempo de carga es el más rápido, teniendo una autosuficiencia de hasta un 70% y por otra parte, permite realizar descargas totales sin verse su vida útil seriamente afectada.

- Transformación:

El inversor solar es uno de los elementos más importante de una instalación fotovoltaica, ya que su función es transformar la corriente continua (CC) que es suministrada por los paneles solares en corriente alterna (CA) que es la que será utilizada en el sitio de consumo. En el caso de las instalaciones conectadas a red, el inversor debe proporcionar una corriente alterna que sea de las mismas características de la red eléctrica a la que está conectado (Sotysolar, 2020; Carmona & Díaz, 2018).

Los fabricantes proporcionan una ficha técnica con los valores de trabajo del inversor, generalmente aparecen:

1. Tensión de entrada: La cual debe coincidir con la tensión nominal de las baterías.

2. Potencia nominal: Es la potencia que es capaz de entregar el inversor a la instalación.
3. Rendimiento máximo: Nos indicará la potencia real entregada por el inversor, que siempre es menor que la potencia nominal del mismo.
4. Forma de la onda: Normalmente se utilizan inversores que den a la salida una onda Senoidal.
5. Distorsión: Indica la posible degradación de la onda.
6. Frecuencia de la señal: Debe coincidir con la de la red eléctrica y ser muy estable.

Los diferentes tipos de inversores solares más empleadas en las instalaciones fotovoltaicas son:

1. Inversores en cadena (String):

Los paneles solares se conectan en serie entre sí, y se agrupan en ramales, cada ramal se conecta a un único inversor solar, que es el encargado de convertir la corriente continua procedente de los paneles en corriente alterna. A pesar que es una tecnología muy desarrollada no siempre es la adecuada ya que debido a su principio de funcionamiento, un inversor String capta tanta electricidad como el panel menos eficiente del ramal, es decir, si un único panel del ramal se ve afectado por una sombra a cualquier hora del día o de forma estacionaria, la potencia entera del ramal se ve reducida a la potencia del panel que se encuentra en la zona sombreada (Sotysolar, 2020).

2. Microinversores:

Estos dispositivos se instalan en cada placa solar de manera individual. Cada uno de ellos es un convertidor independiente que transforma la corriente continua en corriente alterna in situ, permitiendo así la eliminación del impacto negativo que producen las sombras, ya fueran totales o parciales, además permiten la monitorización individual de cada panel (Sotysolar, 2020).

3. Optimizadores de potencia:

Son dispositivos acoplados a la parte trasera de cada panel solar, permitiendo que éste opere independientemente del resto de módulos de su fila. No convierten corriente continua (CC) en corriente alterna (CA), su función es modificar el punto de funcionamiento de la curva Intensidad vs Tensión (I-V) de los paneles que reciben sombras, lo que permite unificar las intensidades del ramal conectado al inversor String optimizando el funcionamiento (Sotysolar, 2020).

2.6 ILUMINACIÓN LED

La tecnología LED (Light Emitting Diode: Siglas en inglés de Diodo Emisor de Luz) consiste en un diodo compuesto por la superposición de varias capas de material semiconductor (Comúnmente el Silicio) que emite luz en una o más longitudes de onda (Colores) cuando es polarizado correctamente. Un diodo es un dispositivo electrónico que permite el paso de la corriente en una única dirección, el diodo y su correspondiente circuito eléctrico se encapsulan en una carcasa plástica, de resina epoxi o cerámica según las diferentes tecnologías, este

encapsulado consiste en una especie de cubierta sobre el dispositivo y en su interior puede contener uno o varios LED (Energética Futura, 2011).

Algunas características positivas que poseen los focos de tecnología LED según (CELSIA, 2017):

- Son capaces de operar con voltajes muy bajos.
- Tienen mayor capacidad de iluminación.
- Cuenta con un consumo de energía bajo.
- Poseen larga duración.
- No contienen elementos tóxicos.
- No necesitan tiempo para calentarse, alcanzando un 100% de rendimiento desde el momento que se encienden.
- Son reciclables.
- Transforman un gran porcentaje de su energía en luz y sólo un pequeño porcentaje en calor.

Entre los campos de aplicación más importantes de la tecnología LED de iluminación se incluyen: alumbrado público, industrial, la industria del automóvil e iluminación del hogar.

2.7 LUMINARIAS SOLARES

Son un sistema de alumbrado independiente instalado en postes, que funciona a base de energía solar fotovoltaica, la cual es almacenada en baterías para proveer energía limpia para sistemas de alumbrado público durante la noche (Solinc, 2020).

Estos sistemas poseen diversas áreas de aplicación tales como la iluminación de: Lotes de estacionamiento, vialidades, caminos, parques, casas de campo, comunidades rurales, haciendas, hoteles, centros recreativos, senderos, vallas publicitarias iluminadas, sitios en construcción, entre otros (Solinc, 2020).

Según (Solinc, 2020) las luminarias solares para alumbrado público se clasifican generalmente en dos tipos:

- Luminarias solares autónomas:

Tienen paneles fotovoltaicos integrados a su estructura, es decir, cada luminaria tiene sus propios paneles fotovoltaicos y es independiente de las demás luces.

- Luminarias solares centralizadas:

Los paneles fotovoltaicos para un grupo de luminarias solares para alumbrado público se colocan por separado como una fuente de energía central.

Una luminaria solar contiene tres elementos principales: el panel solar que transforma la energía del sol en electricidad, el sistema de almacenamiento de energía que regula su uso, elementos de control que se encargan de optimizar la cantidad de energía que se utiliza y que hay almacenada (Dispositivos de encendido y apagado, sensor de movimiento, entre otros) y por último el sistema de iluminación que proporciona la luz, ya sea por tecnología de LED o inducción magnética (Solinc, 2020).

La luminaria solar no necesita cercanía a la red eléctrica, ni cableado, ni sistema subterráneo, sólo necesita de algunos requisitos para su correcta instalación (Portillo, 2021):

- El lugar debe estar despejado y sin zonas que le puedan dar sombra.

- El suelo debe permitir que la luminaria se fije de manera adecuada, para ello, se realizará una cimentación que ayude a que soporte erguida todo tipo de condiciones ambientales.
- El lugar donde es instalado no debería tener temperaturas bajo cero de manera seguida o continua ya que las bajas temperaturas afectan a las baterías por riesgo de congelación del fluido del que están compuestas y acabaría por destruirlas.

Los principales beneficios de utilizar lámparas y luminarias solares para el alumbrado público están en que una vez instaladas no requieren tendido eléctrico, no hay pagos por consumo eléctrico, brindan cuidado al medio ambiente y son de fácil instalación (Portillo, 2021).

CAPÍTULO 3 - MARCO METODOLÓGICO

La Universidad Católica Andrés Bello es alimentada a través de dos líneas eléctricas, la primera proviene de Antimano y la segunda de Montalbán. Asimismo la Institución posee cableado trifásico, postes con tensión de voltaje de 220 V, encendido de luminarias exteriores por control horario en su mayoría (pocas por fotocélula) y tiempo de operación de las mismas de 12 horas (6 pm a 6 am). El presente estudio se dividirá en dos (2) partes:

3.1 PRIMERA PARTE

Se realizará un estudio comparativo entre varios sistemas de energía fotovoltaica y LED para alumbrado público en el campus UCAB, específicamente en dos (2) lugares:

- Jardín Interno (Entre los Módulos 6 y 4), ver Figura 15:



Figura 15 Jardines internos UCAB entre los Módulos 6 y 4.

El espacio posee actualmente tres (3) tipos de luminaria, ver Figura 16:

- 1) Existen 25 postes metálicos tubulares de altura 2.5 m, con luminaria tipo Capri o Mini Capri, hasta 160 W cada una, con bombillos incandescentes (120 – 110) V y sócate E27.
- 2) Se hallan 17 luminarias tipo hongo de altura 70 cm, que trabajan entre (26 -160) W cada una, con bombillos ahorradores de 120 V y sócate E27.
- 3) Se encuentran 3 reflectores de 150 W cada uno, con bombillos Metal Halide (MH) de 220 V y sócate Rx7s.



Figura 16 Luminarias tipo: Capri, Hongo y Reflector MH (Obralux, 2021)

- Estacionamiento Profesores (Piso 3, atrás de Modulo 1), ver Figura 17:



Figura 17 Estacionamiento de profesores (Piso 3, atrás de Modulo 1).

El espacio posee actualmente 5 postes de concreto con altura de 12 m, cada poste soporta 2 luminarias, siendo un total de 10 luminarias tipo M400 de 400 W cada una, existe una combinación de bombillos: Metal Halide (MH) y Sodio Alta Presión (HPS) de 220V y sócate E40 cada uno, ver Figura 18.



Figura 18 Luminaria exterior tipo M40 (Obralux, 2021)

Para esta primera parte el presente estudio se realizará en tres (3) etapas:

1. Elección de sistema:

Serán seleccionados entre 3 y 5 productos por cada alternativa.

- a. Luminaria solar independiente (Incluye: Celda fotovoltaica + LED).
- b. Luminaria dependiente (Incluye: Luminaria LED y conexión a la red eléctrica).

2. Realización de comparación técnica:

Para cada alternativa se hará dimensionado del sistema y evaluación para un mismo periodo de tiempo de:

- a. Eficiencia.
- b. Tiempo de vida.
- c. Potencia.

3. Elaboración de comparación económica en moneda de referencia:
 - a. Costo de instalación de cada alternativa.
 - b. Costo de operación de cada alternativa.
 - c. Costo anual de operación para cada sistema.

3.2 SEGUNDA PARTE

Diseño de sistema fotovoltaico aislado + Luminaria LED para alimentar únicamente la iluminación del edificio de estacionamiento del campus UCAB, ver Figura 19:



Figura 19 Edificio de estacionamiento UCAB.

El espacio posee actualmente cuatro (4) tipos de luminaria, ver Figura 20 y Figura 21:

- 1) Existen 150 luminarias industriales, tipo 4x32 W, con tubos fluorescentes T8 de 120 V y sócate medio bi-pin.
- 2) Se hallan 16 luminarias parabólicas, tipo 2x17 W, con tubos fluorescentes T8 de 120 V y sócate medio bi-pin.
- 3) Se encuentran 46 luminarias de emergencia, tipo 2x4 W, batería de 6 V / 4.5 Ah recargable, con dos (2) bombillos incandescentes tipo Silvin de 120 V.

- 4) Se hallan 4 postes de metal de altura 9 m, cada uno soporta 4 reflectores, haciendo un total de 16 reflectores horizontales (HRF) de 400 W cada uno, existe una combinación de bombillos: Metal Halide (MH) y Sodio Alta Presión (HPS) de 480 V cada uno.



Figura 20 Luminarias tipo: Industrial, Parabólica y de Emergencia (Obralux, 2021).



Figura 21 Reflector Horizontal HRF (WEMCA)..

En esta segunda parte el presente estudio se realizará en tres (3) etapas:

1. Selección de las luminarias LED.
2. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico aislado.
3. Selección de los componentes del sistema fotovoltaico aislado:
 - a. Paneles.
 - b. Regulador de carga.
 - c. Baterías.
 - d. Inversor de corriente.
4. Evaluación técnica del sistema:
 - a. Vida útil de los paneles.
 - b. Eficiencia de los paneles.
 - c. Vida útil de las baterías.
5. Estudio de costos en moneda de referencia:
 - a. Costo de instalación.
 - b. Costo de operación.
 - c. Costo anual de operación.

3.3 ALUMBRADO DE CALLES Y CARRETERAS

El objetivo principal es producir la cantidad y calidad necesaria de iluminación para brindar seguridad, comodidad y rapidez durante la visibilidad nocturna (Westinghouse, 1982).

El proyecto de alumbrado ha de seguir los siguientes pasos:

3.3.1 Clasificación de la zona y de la carretera – Niveles de iluminación

Las clasificaciones de las zonas, carreteras y nivel de iluminación recomendado en lúmenes por metro cuadrado se hallan en la siguiente tabla:

Tabla 1 Nivel luminoso medio horizontal (Westinghouse, 1982).

Carreteras (que no sean muy rápidas ni autopistas)				Carreteras muy rápidas y autopistas ^c	
Carreteras muy rápidas y auto- pistas	Clasificación de las carreteras			Clasificación	Carreteras muy rápidas
	Subur- bios	Inter- media	Zonas aleja- das y rurales		
Principal	200	120	90	Urbana continua	14 ^d
Colectora	120	90	60	Rural continua	10
Local	90	60	20 ^b	Tráfico urbano	20
				Tráfico normal	14

El nivel luminoso medio recomendado representa la iluminación media sobre el pavimento de la carretera cuando la fuente luminosa está en el punto de emisión luminosa más baja y la luminaria está más sucia (Westinghouse, 1982).

El espacio del estacionamiento Profesores (Piso 3, atrás de Modulo 1) se ubica en la sección de carreteras, clasificándose como local y suburbio, dando un total de 90 lm/m².

3.3.2 Selección de luminarias y fuentes de luz

Para el proyecto serán seleccionadas aquellas luminarias que posean las características de: eficiencia, tiempo de vida útil prolongado, facilidad de mantenimiento y bajo costo (Westinghouse, 1982). Asimismo la selección de luminaria se realizará en el marco de las alternativas de estudio que fueron planteadas inicialmente:

1. Luminarias LED.
2. Luminarias Solares (Incluye: Celda fotovoltaica + LED).

Se usaran tablas de equivalencia que relacionan vatios incandescentes y vatios LED para una misma cantidad de lúmenes en la selección de la luminaria, las medidas son aproximadas ya que varían dependiendo del modelo de la fuente de luz, pero sirven de función orientativa para el dimensionado.

3.3.3 Clasificación de las luminarias

- Distribución vertical de luz:

Se divide en tres categorías, corta (S), media (M) y larga (L), según el ángulo vertical de máxima intensidad luminosa en relación con la altura de montaje (MH) (Westinghouse, 1982).

- Distribución lateral de luz:

Se encuentra dividida en dos grupos de acuerdo con el emplazamiento de la luminaria en relación con la zona que se va a iluminar (Westinghouse, 1982):

1. Centro de la calle o carretera.
2. Lado de la calle o carretera.

Estos grupos se subdividen a su vez de acuerdo a la abertura lateral de la línea isocandela de intensidad luminosa igual a la mitad de la máxima (Westinghouse, 1982).

Las clasificaciones de distribución lateral y vertical están hechas sobre la base de un diagrama isocandela que lleva superpuestas en su retículo de coordenadas rectangulares una serie de líneas longitudinales de calle (LRL) numeradas en múltiplos de la altura de montaje (MH) y una serie

de líneas transversales de calle (TRL) con el mismo sistema de numeración, ver Figura 22 (Westinghouse, 1982).

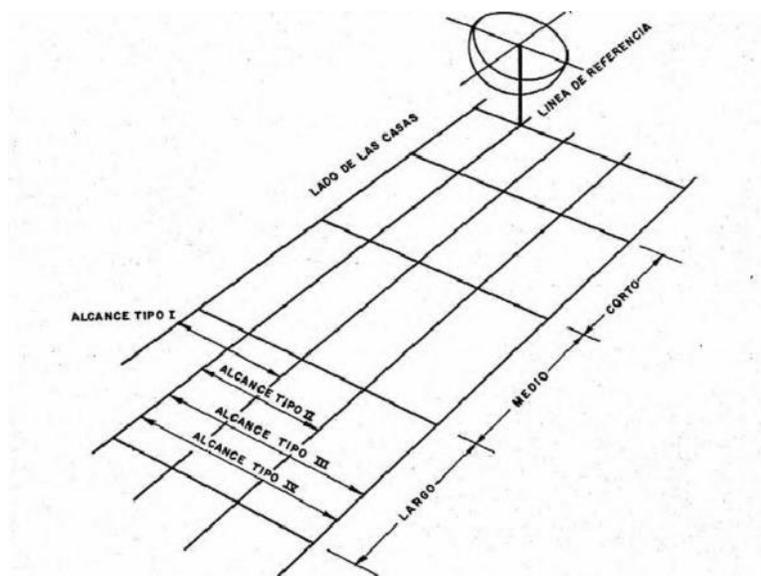


Figura 22 Clasificaciones de la distribución de luz (Westinghouse, 1982).

- Control de la distribución de luz por encima de la máxima intensidad luminosa:
Se divide en tres tipos, en función del porcentaje de lúmenes nominales de la fuente de luz emitidos por encima del límite (TRL) para las distribuciones (S), (M) y (L) verticales (Westinghouse, 1982):
 1. Controlada: No más del 10%.
 2. Semicontrolada: No más del 3%
 3. No controlada: No existe limitación.

El espacio del estacionamiento Profesores (Piso 3, atrás de Modulo 1) posee una distribución vertical de luz de tipo media (M), esto se debe a la posición del sócate. Con respecto

a la distribución horizontal de luz las luminarias están ubicadas para que iluminen el centro de la calzada y la apertura lateral de la línea isocandela de intensidad luminosa igual a la mitad de la máxima es de 4,30 m.

3.3.4 Emplazamiento de las luminarias – Separación y altura de montaje

La ubicación, separación y altura de montaje apropiados de las luminarias implican factores de iluminación tales como la relación de uniformidad entre el nivel luminoso más bajo y el medio, y el deslumbramiento mínimo. A la par se toman en cuenta factores de orden práctico tales como: conveniencia en la ubicación de los postes, límites de las propiedades, desniveles, curvas, cruces, entre otros. Todo con el objetivo de alcanzar un mínimo deslumbramiento con un óptimo brillo al pavimento (Westinghouse, 1982).

- Altura de montaje:

Se establece en función de la máxima intensidad luminosa del haz y el tipo de control de la luminaria (Westinghouse, 1982). La altura de montaje mínima se da en la siguiente tabla:

Tabla 2 Altura mínima de montaje para luminarias (Westinghouse, 1982).

Intensidad luminosa máxima de la luminaria	Altura mínima de montaje (m)		
	Cutoff	Semi-cutoff	No-cutoff
Por debajo de 5.000	6	6	7,5
Por debajo de 10.000	6	7,5	9
Por debajo de 15.000	7,5	9	10,5
Por encima de 15.000	9	10,5	12

- Iluminación Media:

El cálculo se basa en el método de los lúmenes, donde se toma en cuenta la selección del tipo de luminaria, la altura de montaje y en su separación para iluminar una anchura determinada de calle o carretera (Westinghouse, 1982).

- Nivel luminoso más bajo:

Se realiza un estudio de la iluminación en los puntos de la calle o carretera en los que es de esperar que se presente el mínimo, para esto se usan las curvas fotométricas correspondientes a las luminarias a evaluar (Westinghouse, 1982).

La finalidad es comprobar si la disposición propuesta de las luminarias alcanzará la relación requerida entre las iluminaciones mínimas y la media, donde el valor más bajo de nivel luminoso en cualquier punto del pavimento no deberá ser menor de un tercio del valor medio. La única excepción a esta exigencia se reduce a las carreteras residenciales, donde el valor más bajo de nivel luminoso en cualquier punto puede ser hasta un sexto del valor medio (Westinghouse, 1982).

El espacio del estacionamiento Profesores (Piso 3, atrás de Modulo 1) posee una disposición de luminarias con las siguientes características, ver Figura 23 y 24:

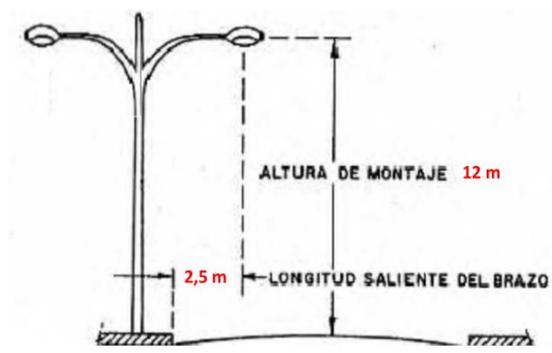


Figura 23 Altura de montaje y longitud brazo (Westinghouse, 1982).

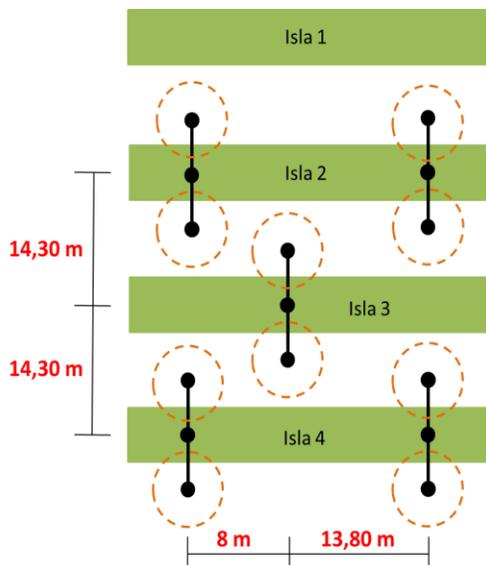


Figura 24 Croquis planta separación luminarias.

3.4 ALUMBRADO DE ÁREAS EXTERIORES

Para el dimensionado de alumbrado de áreas exteriores tales como jardines aún no existe regulación en la actualidad. La gran mayoría de fabricantes de este tipo de luminaria ofrecen productos de hasta 100 W de potencia máxima según (Obralux, 2021).

Debido a que las alternativas de luminarias para el presente estudio utilizan tecnología LED se usaran tablas de equivalencia que relacionan vatios incandescentes y vatios LED para una misma cantidad de lúmenes, las medidas son aproximadas ya que varían dependiendo del modelo de la fuente de luz, pero sirven de función orientativa para el dimensionado.

3.5 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

El diseño del sistema fotovoltaico será únicamente para alimentar la iluminación supuesta como LED en el edificio de estacionamiento del campus UCAB.

3.5.1 Análisis de carga

Se refiere al primer paso en el diseño y tiene como objetivo determinar el consumo energético que la instalación ha de satisfacer. Asimismo este método considera los autoconsumos o pérdidas por rendimiento que tendrán los equipos, tales como: regulador, inversor, conductores y otros que formen parte de la instalación. Además agrega un factor de seguridad de 10% para evitar pérdidas por eficiencia de paneles. Por esta razón el consumo medio real será ligeramente superior al nominal (Alonso, 2020).

Es de suma importancia que los datos suministrados para realizar el cálculo de consumo de energía diario para las luminarias LED sean lo más realistas posibles. Esto con la finalidad de evitar errores en el dimensionamiento, ya que una sobreestimación de las cargas daría como resultado un exceso de costos para el sistema. De igual forma una baja estimación de cargas generaría un sistema incapaz de cumplir con la demanda.

Entendiendo que la energía es la potencia requerida en un periodo de tiempo, a la hora de diseñar un sistema se deberá tener en cuenta dos aspectos referentes a las cargas de consumo:

- Potencia unitaria de cada carga:

Es un dato esencial que se obtiene de las características de cada elemento de consumo, se debe especificar si la carga es de corriente continua o alterna (Méndez & Cuervo, 2011).

- Horas de utilización de cada carga:

Conjuntamente se deberá especificar las horas diarias de utilización de dicha carga (Méndez & Cuervo, 2011).

Multiplicando la potencia unitaria de cada carga por sus horas de utilización se obtendrá el consumo diario de energía de cada equipo y haciendo la sumatoria del consumo de todos los equipos se obtendrá el consumo medio diario nominal, ver Ecuaciones 7 y 8.

$$\text{Energía Equipo (Whd)} = \text{Potencia Unitaria (W)} * \text{Horas de Uso Diario (h)}$$

Ecuación 7 Consumo energético diario de cada equipo (Alonso, 2020).

$$Lmd = \frac{L_{md,DC} + \frac{L_{md,AC}}{n_{inv}}}{n_{bat} * n_{con}}$$

Ecuación 8 Consumo medio de energía diario (Alonso, 2020).

L_{md} = Consumo medio de energía diario (Wh/día).

$L_{md,DC}$ = Consumo medio de energía diario de todas las cargas en continua (Wh/día).

$L_{md,AC}$ = Consumo medio de energía diario de todas las cargas en alterna (Wh/día).

n_{inv} = Eficiencia del inversor.

n_{bat} = Eficiencia de la batería.

n_{con} = Eficiencia de los conductores.

3.5.2 Dimensionado del generador fotovoltaico

El objetivo del cálculo es determinar cuál es la cantidad de paneles y el tipo de arreglo fotovoltaico (Serie / Paralelo) necesario para cubrir la demanda en un día. Además de esto se deberá determinar cuál es la inclinación óptima de los paneles.

Para determinar la inclinación de los paneles según (Alonso, 2020) se realizará inicialmente una tabla que refleje varias inclinaciones típicas (30°, 40°, 50° y 60°) y los meses

del año. Seguidamente para cada una de esas inclinaciones se colocará el dato de radiación solar global correspondiente al mes estudiado, los datos de radiación solar global del sitio de estudio se buscarán a través de alguna aplicación online gratuita, en este caso se realizará a través del PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System: Siglas en inglés de Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica) perteneciente al servicio de ciencia y conocimiento de la Comisión Europea (EU SCIENCE HUB).

Seguidamente se aplicará el criterio del mes crítico, a partir de la tabla de radiaciones se elaborará otra tabla que contenga los cocientes entre el consumo y la radiación global de cada inclinación por cada mes. Posteriormente para cada inclinación se buscará el mayor valor de todos los cocientes, ello corresponderá al mes del año en donde la relación entre el consumo de energía y la irradiación disponible será mayor (mes crítico), por lo tanto es el momento donde habrá de asegurar el suministro de energía aunque eso implique sobredimensionamiento para los meses restantes (Alonso, 2020).

Finalmente para dicho mes seleccionado se escogerá el menor valor de cociente que exista, dicho valor estará asociado a una inclinación, esa será entonces la posición óptima para los paneles (Alonso, 2020).

Para el cálculo del número total de paneles y el tipo de arreglo fotovoltaico necesario se utilizaran las Ecuaciones 9, 10 y 11:

$$N_T = \frac{L_{mdcrit}}{P_{mpp} * HPS_{crit} * PR}$$

Ecuación 9 Número total de paneles solares (Alonso, 2020).

L_{mdcrit} = Consumo medio diario mensual para el mes crítico (Wh/día).

P_{mpp} = Potencia pico del panel en condiciones estándar de medida STC (W).

HPS_{crit} = Hora solar pico para el mes crítico e inclinación óptima (h/día).

PR = Factor global de funcionamiento, valores entre: 0,65 y 0,90.

$$N_{serie} = \frac{V_{BAT}}{V_{MOD,MPP}}$$

Ecuación 10 Número de ramas en serie (Alonso, 2020).

V_{BAT} = Tensión de trabajo del sistema de acumulación (V)

$V_{MOD,MPP}$ = Máximo voltaje del panel (V).

$$N_{paralelo} = \frac{N_T}{N_{serie}}$$

Ecuación 11 Número de ramas en paralelo (Alonso, 2020).

3.5.3 Dimensionado del banco de baterías

Los parámetros más utilizados para el dimensionado del arreglo de baterías son la tensión del sistema y el número de días de autonomía que se asignaran al sistema.

La autonomía prevista del sistema aislado para que las baterías garanticen energía sin el aporte de los paneles fotovoltaicos será de entre 3 o 10 días en función del tipo de instalación y de la región donde se encuentre ubicado el sistema (Méndez & Cuervo, 2011).

Asimismo en función de la envergadura de la instalación, es decir la potencia máxima del grupo generador se determinará la tensión de trabajo en lo que al sistema de acumulación se refiere (Méndez & Cuervo, 2011), ver Tabla 3.

Tabla 3 Valores de referencia de tensión de trabajo (Méndez & Cuervo, 2011).

Referencias de Elección	
Potencia < 400 Wp	12 V
400 Wp < Potencia < 5.000 Wp	24 ó 48 V
Potencia > 5.000 Wp	48 – 110 V

La capacidad nominal necesaria de la batería solar estará en función de la profundidad de descarga estacional y la diaria. Será seleccionado el mayor valor entre ambos, pues de lo contrario se podría incurrir en una insuficiencia estacional o diaria (Alonso, 2020), ver Ecuaciones 12 y 13.

$$C_{nd} = \frac{L_{md}}{P_{D \max,d} * V_{BAT}}$$

Ecuación 12 Capacidad nominal batería – Diaria (Alonso, 2020).

$P_{D \max,d}$ = Profundidad de descarga máxima diaria (%).

V_{BAT} = Tensión de trabajo del sistema de acumulación (V).

$$C_{ne} = \frac{L_{md} * N}{P_{D \max,e} * V_{BAT}}$$

Ecuación 13 Capacidad nominal batería – Estacional (Alonso, 2020).

$P_{D \max,e}$ = Profundidad de descarga máxima estacional (%).

N = Número de días de autonomía.

Según (Alonso, 2020) para asegurar la carga máxima de la batería se ha de verificar lo siguiente:

1. La corriente de cortocircuito del sistema de generación debe ser mayor o igual que la capacidad nominal de la batería, dividida entre treinta.
2. La corriente de cortocircuito del sistema de generación debe ser menor a la corriente de carga máxima recomendada por el fabricante.

Para determinar la configuración final del arreglo de las baterías se aplicarán las Ecuaciones 14, 15 y 16.

$$N_{BAT,paralelo} = \frac{C_{nx}}{C_n}$$

Ecuación 14 Número de ramas de baterías en paralelo.

C_{nx} = Capacidad nominal de la batería (Diaria o Estacional) (Ah).

C_n = Capacidad nominal de la batería seleccionada (Ah).

$$N_{BAT,serie} = \frac{V_{BAT}}{V_n}$$

Ecuación 15 Número de ramas de baterías en serie.

V_n = Voltaje nominal de la batería seleccionada (V).

$$N_{BAT,total} = N_{BAT,paralelo} * N_{BAT,serie}$$

Ecuación 16 Número de baterías totales.

3.5.4 Cálculo del regulador de carga

Para una correcta selección del regulador se deberá calcular cuánto será la máxima corriente que deberá soportar el regulador a su entrada y a su salida, para ello serán considerados parámetros fotovoltaicos asociados al panel y del regulador de carga seleccionado (Alonso, 2020).

Para calcular la corriente de entrada se realizará el producto de la corriente de cortocircuito de un panel por el número de ramas en paralelo que existan y por un factor de seguridad para evitar daños ocasionales al equipo, ver Ecuación 17.

$$I_{entrada} = I_{MOD,SC} * N_{paralelo}$$

Ecuación 17 Corriente de entrada al regulador (Alonso, 2020).

$I_{MOD,SC}$ = Corriente de cortocircuito del panel (Ah).

Para el cálculo de la corriente de salida se han de valorar las potencias de las cargas de corriente continua (DC) y las cargas de corriente alterna (AC), ver Ecuación 18.

$$I_{salida} = \frac{1,25 * (P_{DC} + \frac{P_{AC}}{n_{inv}})}{V_{BAT}}$$

Ecuación 18 Corriente de salida del regulador (Alonso, 2020).

P_{DC} = Potencia de las cargas en corriente continua (W).

P_{AC} = Potencia de las cargas en corriente alterna (W).

Por último se elige la máxima corriente y se divide por la corriente nominal del regulador seleccionado, ver Ecuación 19.

$$N_{REG,total} = \frac{I_x}{I_n}$$

Ecuación 19 Número total de reguladores.

I_x = Máxima corriente del regulador (Entrada o Salida) (Ah).

I_n = Corriente nominal de la batería seleccionada (Ah).

3.5.5 Cálculo del inversor fotovoltaico

Para la correcta selección del inversor se ha de calcular la potencia corregida, la cual surge de sumar la potencia de las cargas en corriente alterna y aplicar un factor de seguridad, ver Ecuación 20 y 21.

$$P_{inv} = 1,2 * P_{AC}$$

Ecuación 20 Potencia corregida del inversor (Alonso, 2020).

$$N_{INV,total} = \frac{P_{inv}}{P_{nom}}$$

Ecuación 21 Número total de inversores.

P_n = Potencia nominal del inversor seleccionado.

Se recomienda la elección de inversores de onda senoidal pura ya que asemejan la forma de onda de la red eléctrica, por lo tanto son más óptimos para la alimentación de equipos eléctricos y electrónicos (Alonso, 2020).

CAPÍTULO 4 – CÁLCULOS Y RESULTADOS

4.1 PRIMERA PARTE

4.1.1 Jardín Interno

- Luminaria LED:

1) Luminaria Caminería:

Tabla 4 Características Técnicas Luminaria LED Caminería.

PROVEEDORES Y PRODUCTOS									
Luminaria (Postes/ Caminería/ Plazas/ Peatonal)									
Tipo	Proveedor	Modelo	Precio (\$)	Potencia (W)	Tensión (V)	Vida Útil (hr)	Lumen (lm)	Frec (Hz)	Temp (K)
LED	Electro RB	Illuminak Diamond	2.9	22	85-265	35000	1200	50/60	6500
LED	Big Bang Electric	Hammer (E27)	5	20	85-265	25000	1940	50/60	6500
LED	Lumi Lux	IL-601 Satélite	135	88	120-277	50000	7200	60	5600
LED	Big Bang Electric	Ikataled Bulbo (E27)	20	50	100-240	35000	4500	60	6500

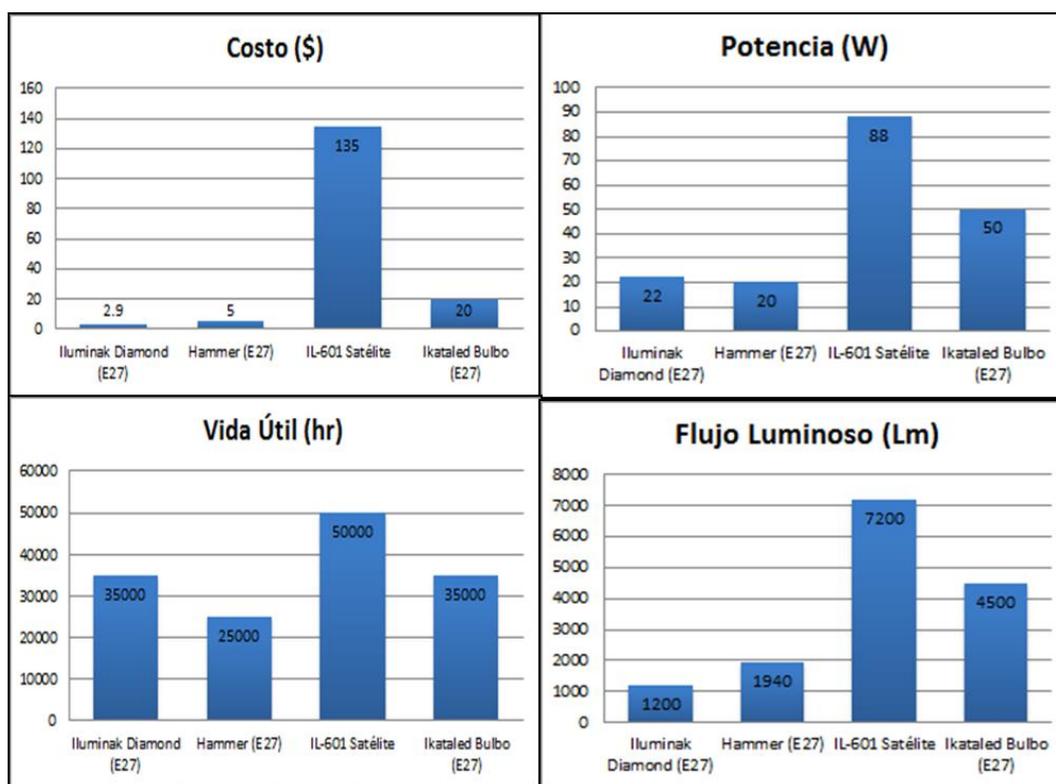


Figura 25 Gráficas Comparativas Luminarias LED Caminería.

Se evaluaron bombillos LED porque ofrecen la posibilidad de seguir utilizando las lámparas tipo Capri al reemplazar a los bombillos incandescentes, reduciendo así costo de implementar una lámpara o luminaria nueva.

Además se evaluó la luminaria LED IL-601 Satélite con características superiores en cuanto a iluminación y un costo asociado mayor, pero la opción se descartó porque es necesario duplicar la altura de los postes lo cual aumenta el costo. Asimismo dicho tipo de luminaria está diseñada para sitios específicos que requieran un flujo luminoso más alto que las caminerías de los jardines.

Se evaluaron 4 productos, de los cuales el seleccionado fue el bombillo LED marca Ikataled sócate E27.

Tabla 5 Consumo Diario Luminaria LED Caminería.

CÁLCULO DE CONSUMO DIARIO					
Tipo Luminaria	Cantidad Luminaria	Potencia (W)	Potencia Total (W)	Horas de Uso Diario (h/d)	Consumo Total (Wh/d)
LED	25	50	1250	12	15000

2) Reflectores:

Tabla 6 Características Técnicas Reflectores LED.

PROVEEDORES Y PRODUCTOS									
Reflectores									
Tipo	Proveedor	Modelo	Precio (\$)	Potencia (W)	Tensión (V)	Vida Útil (h)	Lumen (lm)	Frec (Hz)	Temp (K)
LED	Electro RB	PHILIPS Mini Flood	30	30	120 - 277	30000	2400	50/60	6500
LED	Obra Lux	LUCERNA	11.57	20	100 - 240	30000	1800	50/60	6000
LED	Lumi Lux	OSRAM Ledvance	43	20	100-240	30000	1800	50/60	5000
LED	Nanum Light	Nanum Light Reflector	11	30	85-277	30000	2400	50/60	6500

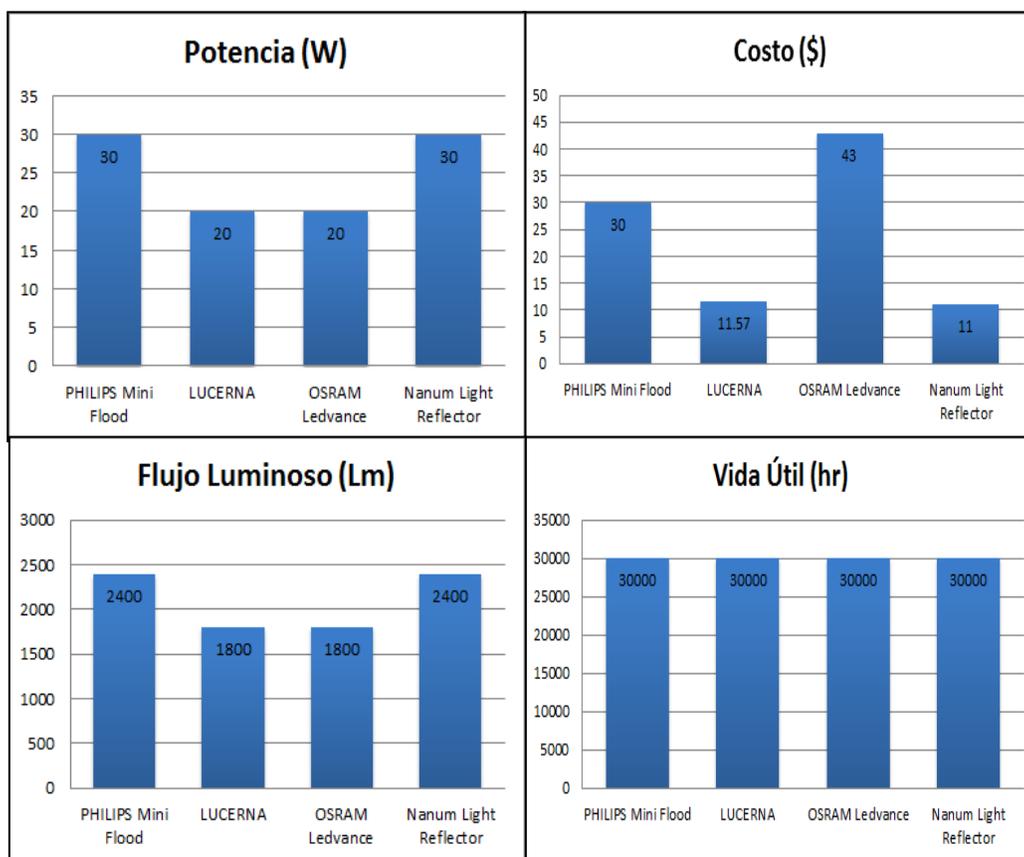


Figura 26 Gráficas Comparativas Reflectores LED.

Fueron evaluados 4 productos, de los cuales el seleccionado fue el reflector LED marca Lucerna.

Tabla 7 Consumo Diario Reflectores LED.

CÁLCULO DE CONSUMO DIARIO					
Tipo Luminaria	Cantidad Luminaria	Potencia (W)	Potencia Total (W)	Horas de Uso Diario (h/d)	Consumo Total (Wh/d)
LED	3	20	60	12	720

3) Luminarias Tipo Hongo:

Tabla 8 Características Técnicas Luminaria Tipo Hongo (Bombillos).

PROVEEDORES Y PRODUCTOS									
Luminaria Tipo Hongo (Bombillos)									
Tipo	Proveedor	Modelo	Precio (\$)	Potencia (W)	Tensión (V)	Vida Útil (h)	Lumen (lm)	Frec (Hz)	Temp (K)
LED	Electro RB	PHILIPS Eco Home (E27)	3.5	12	220-240	10000	950	50/60	6500
LED	Obra Lux	LUCERNA Bulbo	1.64	12	100-240	25000	1080	50/60	3000
LED	Inversiones GAMCOV	LUCERNA Espiral	4	12	85-265	30000	1200	50/60	6500
LED	Nanum Light	Nanum Light LED Serie U	2.3	12	85-277	30000	960	50/60	6500
LED	Nanum Light	Nanum Light LED Bulb	2	12	85-277	30000	960	50/60	6500

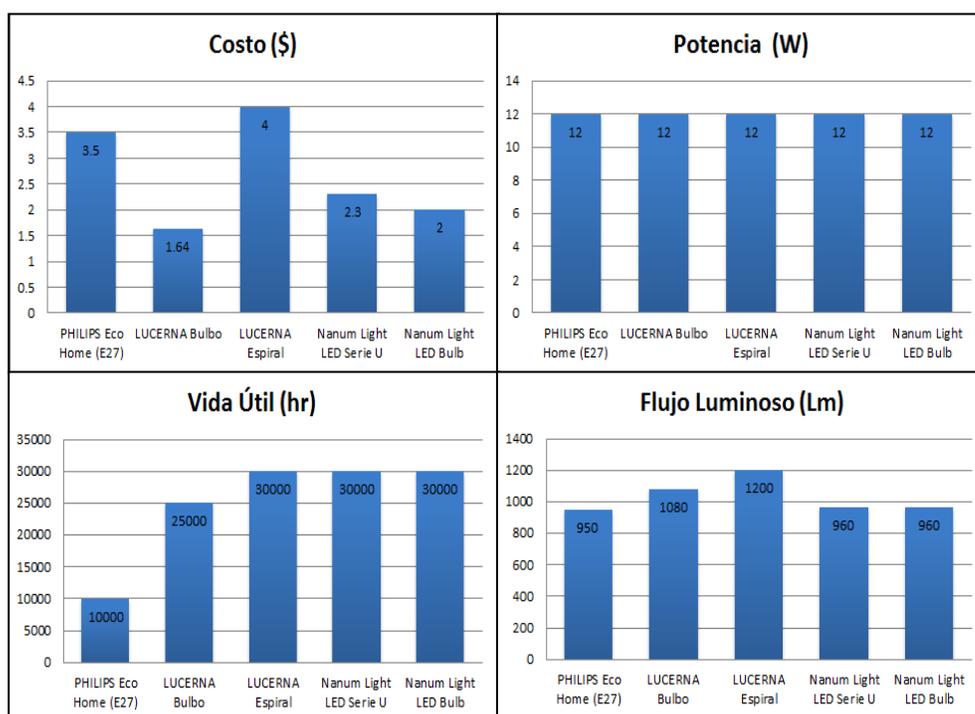


Figura 27 Gráficas Comparativas Luminaria Tipo Hongo (Bombillos).

Se evaluaron bombillos LED porque ofrecen la posibilidad de seguir utilizando las luminarias tipo Hongo al reemplazar a los bombillos ahorradores, reduciendo así costo de implementar una luminaria nueva.

Se evaluaron 5 productos, de los cuales el seleccionado fue el bombillo LED tipo bulbo marca Lucerna sócate E27.

Tabla 9 Consumo Diario Luminaria Tipo Hongo (Bombillos).

CÁLCULO DE CONSUMO DIARIO					
Tipo Luminaria	Cantidad Luminaria	Potencia (W)	Potencia Total (W)	Horas de Uso Diario (h/d)	Consumo Total (Wh/d)
LED	17	12	204	12	2448

4) Presupuesto:

Tabla 10 Presupuesto Luminarias LED Jardín Interno.

PRESUPUESTO LUMINARIAS LED JARDÍN INTERNO					
Fecha 05/06/21					
N° Partida	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Total (\$)
1	Suministro Ikataled Bulbo (E27)	UN	25	21.00	525.00
2	Instalación Ikataled Bulbo (E27)	S/G	1	175.00	175.00
3	Suministro Reflector LED LUCERNA	UN	3	12.15	36.45
4	Instalación Reflector LED LUCERNA	S/G	1	12.15	12.15
5	Suministro Lucerna Bulbo E27	UN	17	1.72	29.274
6	Instalación Lucerna Bulbo E27	S/G	1	9.76	9.76
TOTAL					787.63

- Luminaria Solar:

1. Luminaria Caminería:

Tabla 11 Características Técnicas Luminaria Solar Caminería.

PROVEEDORES Y PRODUCTOS														
Luminaria (Postes/ Caminería/ Plazas/ Peatonal)														
Tipo	Proveedor	Modelo	Precio (\$)	Potencia (W)	Capacidad Panel (W)	Capacidad Batería (V- mAh)	Vida Útil (hr)	Tiempo de Carga (hr)	Tiempo de Iluminación (hr)	Lumens (Lm)	Eficiencia (%)	Temp (K)	Altura Montaje (m)	Cobertura Iluminación (m ²)
Solar	Nanum Light	AN Solar Integrado T60	34	60	12	3,2 - 10	30000	4 - 6	10 - 15	5100	67	6500	3 - 7	30 - 40
Solar	Nanum Light	AN Solar Integrado T90	42	90	15	3,2 - 15	30000	4 - 6	10 - 15	7650	67	6500	4 - 6	40 - 60
Solar	Nanum Light	HXT-FW (Panel Integrado)	34	60	10	3,2 - 12	30000	5 - 6	10 - 20	5100	50	6500	6 - 12	50 - 70
Solar	Saldivia Import C.A	Solar Lights JD - 1930	45	30	5	3,2 - 50	70080	4 - 6	24 - 36	4080	67	6500	3 - 6	60 - 80

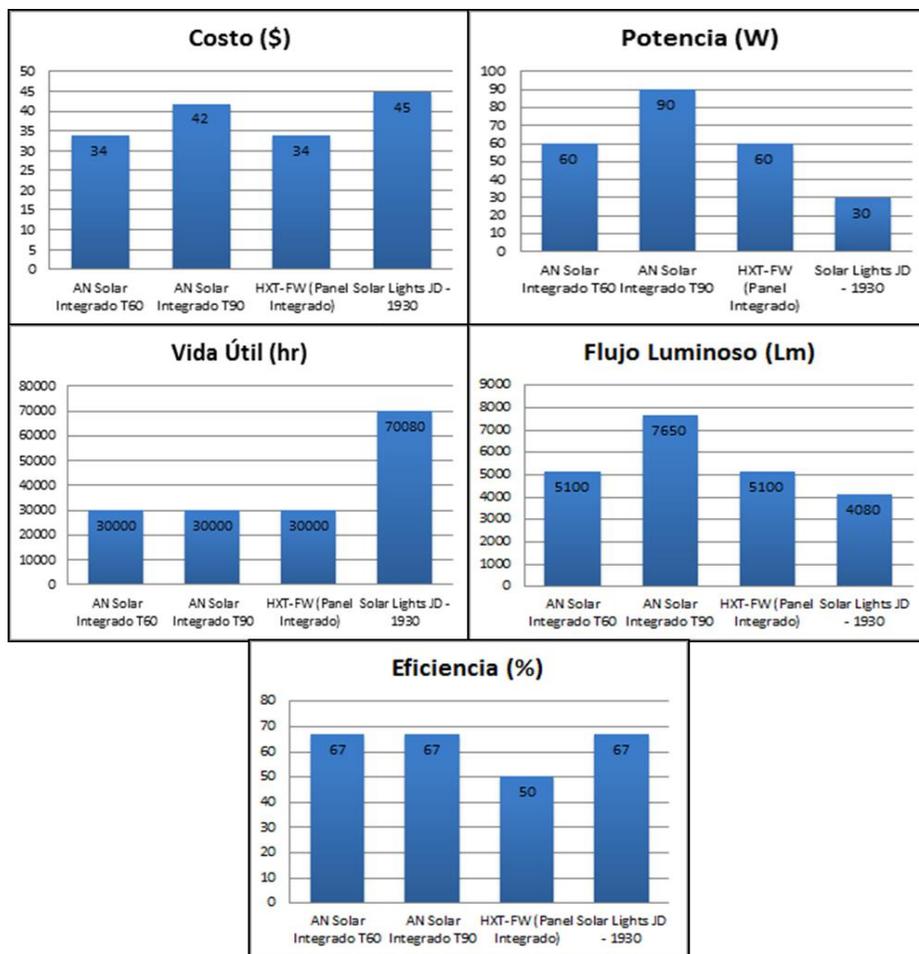


Figura 28 Gráficas Comparativas Luminarias Solares Caminería.

Se evaluaron 4 productos, de los cuales el seleccionado fue la luminaria solar JD – 1930 de marca JD Solar Lights.

2. Reflectores:

Según la investigación realizada, la oferta de luminarias solares tipo reflector que se divisó en el mercado venezolano es bastante limitada en cuanto a variedad de modelos, por lo cual solo fue evaluado un solo producto que cumple con los requerimientos del estudio.

Tabla 12 Características Técnicas Reflector Solar.

PROVEEDORES Y PRODUCTOS														
Reflector Solar														
Tipo	Proveedor	Modelo	Precio (\$)	Potencia (W)	Capacidad Panel (W)	Capacidad Batería (V- mAh)	Vida Útil (hr)	Tiempo de Carga (hr)	Tiempo de Iluminación (hr)	Lumenes (Lm)	Eficiencia (%)	Temp (K)	Altura Montaje (m)	Cobertura Iluminación (m ²)
Solar	Nanum Light	Reflector con Panel Solar	39	50	18	3,2 - 12	30000	4 - 6	8 - 10	5000	67	6500	2 - 4	30 - 40

Fue seleccionado el reflector con panel solar marca Nanum Light.

3. Luminarias Tipo Hongo:

Con respecto a la luminaria tipo hongo solo se buscaron alternativas de sustitución con tecnología LED tales como las mostradas en el apartado anterior, debido a que la altura de montaje 70 cm y el requerimiento de iluminación óptima del sitio 900 lm, exigen la utilización de luminarias solares que según la investigación realizada no se consiguen en el país.

4. Presupuesto:

Tabla 13 Presupuesto Luminarias Solar + LED Jardín Interno.

PRESUPUESTO LUMINARIA SOLAR + LED JARDÍN INTERNO					
Fecha 06/06/21					
N° Partida	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Total (\$)
1	Suministro Lucerna Bulbo E27	UN	17	1.72	29.27
2	Instalación Lucerna Bulbo E27	S/G	1	9.76	9.76
3	Suministro Reflector con Panel Solar	UN	3	40.95	122.85
4	Instalación Reflector con Panel Solar	S/G	1	40.95	40.95
1	Suministro Solar Lights JD - 1930	UN	25	47.25	1181.25
2	Transporte Solar Lights JD - 1930	S/G	1	393.75	393.75
				TOTAL	1777.83

4.1.2 Estacionamiento Profesores

- Luminaria LED:

1) Luminaria Alumbrado Público:

Tabla 14 Características Técnicas Alumbrado Público LED.

PROVEEDORES Y PRODUCTOS									
Alumbrado Público									
Tipo	Proveedor	Modelo	Precio (\$)	Potencia (W)	Tensión (V)	Vida Útil (h)	Lumen (lm)	Frec (Hz)	Temp (K)
LED	Electro RB	PHILIPS Road Focus	338	108	120-277	100000	10914	50/60	4000
LED	Diploelca	HAMMER Cobra	66.33	150	85-277	50000	12000	60	6500
LED	Diploelca	HAMMER Cobra	52.48	100	85-277	50000	10000	60	6500
LED	Lumi Lux	Lumi Lux IL-605	110	200	85-265	50000	18000	60	6500

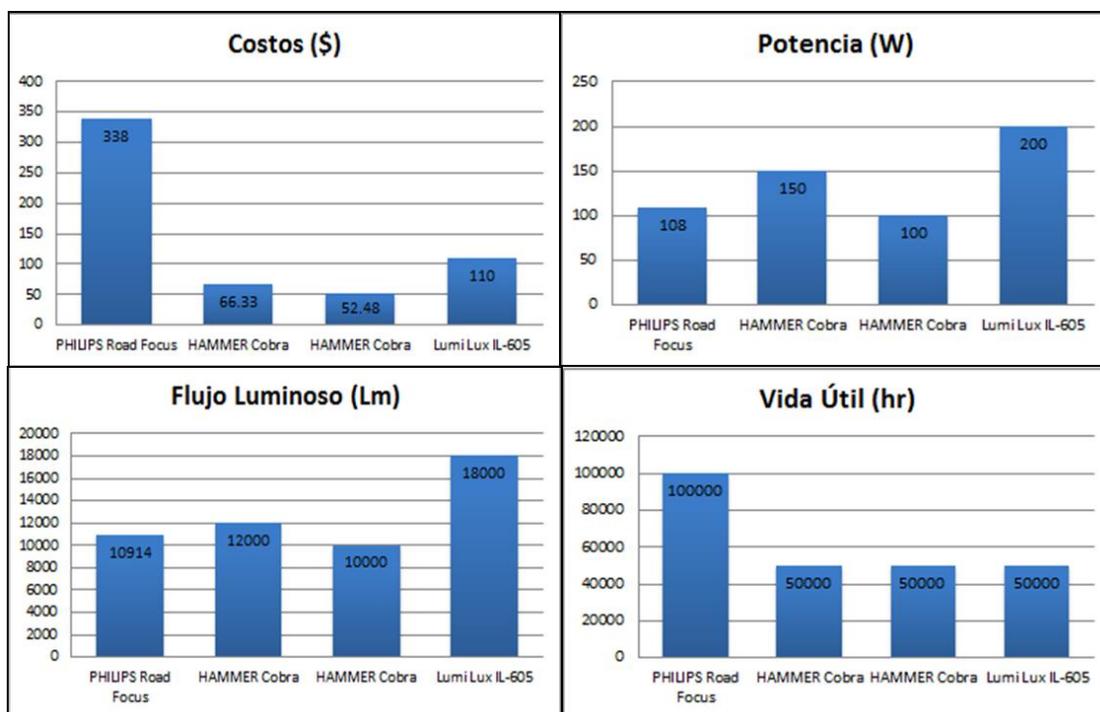


Figura 29 Gráficas Comparativas Alumbrado Público LED.

Se evaluaron 4 productos, de los cuales el seleccionado fue la luminaria LED tipo Cobra marca HAMMER.

Tabla 15 Consumo Alumbrado Público LED.

CÁLCULO DE CONSUMO DIARIO					
Tipo Luminaria	Cantidad Luminaria	Potencia (W)	Potencia Total (W)	Horas de Uso Diario (h/d)	Consumo Total (Wh/d)
LED	10	150	1500	12	18000

2) Presupuesto:

Tabla 16 Presupuesto Alumbrado Público LED.

PRESUPUESTO LUMINARIA ALUMBRADO PÚBLICO					
Fecha 08/06/21					
N° Partida	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Total (\$)
1	Suministro HAMMER Cobra	UN	10	69.65	696.47
2	Instalación HAMMER Cobra	S/G	1	232.16	232.16
				TOTAL	928.62

- Luminaria Solar:

1) Luminaria Alumbrado Público:

Tabla 17 Características Técnicas Alumbrado Público Solar.

PROVEEDORES Y PRODUCTOS														
Alumbrado Público														
Tipo	Proveedor	Modelo	Precio (\$)	Potencia (W)	Capacidad Panel (W)	Capacidad Batería (V- mAh)	Vida Útil (hr)	Tiempo de Carga (hr)	Tiempo de Iluminación (hr)	Lumenes (Lm)	Eficiencia (%)	Temperatura (K)	Altura Montaje (m)	Cobertura Iluminación (m ²)
Solar	Nanum Light	HXT-LD (Panel Separado)	95	200	40	6,4 - 15	30000	4 - 6	12 - 14	17000	86	6500	4 - 8	160 - 200
Solar	Nanum Light	HXT-FW (Panel Integrado)	64	200	18	3,2 - 24	30000	5 - 6	8 - 10	17000	80	6500	10 - 20	90 - 180
Solar	Nanum Light	HXT-FW (Panel Integrado)	49	120	15	3,2 - 24	30000	5 - 6	8 - 10	10200	80	6500	8 - 14	80 - 120
Solar	Nanum Light	AN Solar Integrado	49	120	18	3,2 - 20	30000	4 - 6	10 - 15	10200	67	6500	5 - 7	60 - 90

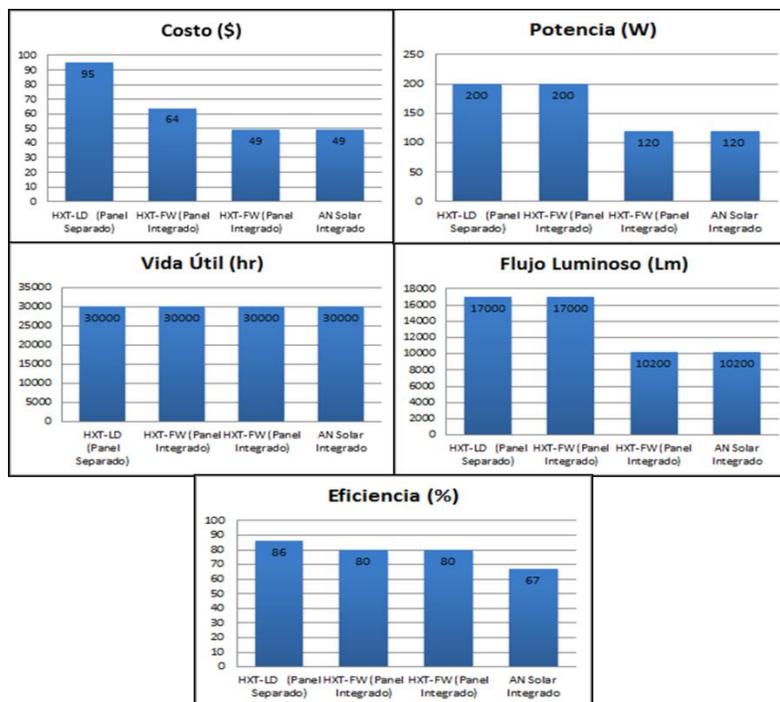


Figura 30 Gráficas Comparativas Alumbrado Público Solar.

Se evaluaron 4 productos, de los cuales el seleccionado fue la luminaria solar HXT-FW (Panel Integrado) de 200W marca Nanum Light.

2) Presupuesto:

Tabla 18 Presupuesto Alumbrado Público Solar.

PRESUPUESTO LUMINARIA ALUMBRADO PÚBLICO					
Fecha 08/06/21					
N° Partida	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Total (\$)
1	Suministro HXT-FW (Panel Integrado)	UN	10	67.20	672.00
2	Instalación HXT-FW (Panel Integrado)	S/G	1	224.00	224.00
TOTAL					896.00

4.2 SEGUNDA PARTE

4.2.1 Dimensionamiento Sistema Fotovoltaico Edificio Estacionamiento

A. Luminaria LED:

1) Luminaria Industrial:

Tabla 19 Características Técnicas Tubos LED Luminaria Industrial.

PROVEEDORES Y PRODUCTOS									
Luminaria Industrial									
Tipo	Proveedor	Modelo	Precio (\$)	Potencia (W)	Tensión (V)	Vida Útil (h)	Lumen (lm)	Frec (Hz)	Temp (K)
LED	Electro RB	PHILIPS Eco Fit 1,20 m	3.85	16	220-240	15000	1600	50/60	6500
LED	Electro RB	PHILIPS Core Pro 1,20 m	6.4	18	220-240	30000	2000	50/60	6500
LED	Obra Lux	LUCERNA 1,20 m	3.57	18	85-277	25000	1800	50/60	6500
LED	Lumi Lux	OSRAM LED Valve	5.49	16	100-277	15000	1600	50/60	6500
LED	Nanum Light	LED Tubo T8 1,20 m	3.7	18	85-277	30000	1800	50/60	6500

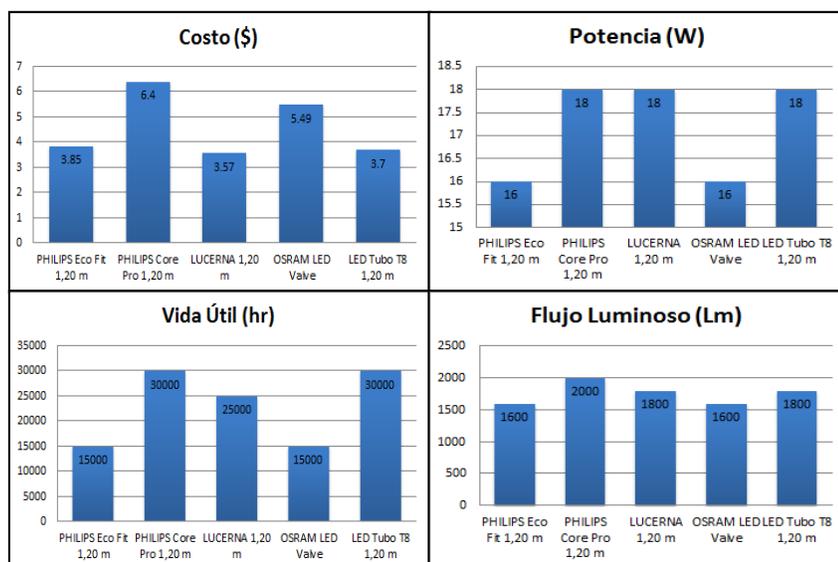


Figura 31 Gráficas Comparativas Tubos LED Luminaria Industrial.

Se evaluaron 5 productos, de los cuales el seleccionado fue el tubo LED de 18W marca LUCERNA.

2) Luminaria Parabólica:

Tabla 20 Características Técnicas Tubos LED Luminaria Parabólica.

PROVEEDORES Y PRODUCTOS									
Luminaria Parabólica									
Tipo	Proveedor	Modelo	Precio (\$)	Potencia (W)	Tensión (V)	Vida Útil (h)	Lumen (lm)	Frec (Hz)	Temp (K)
LED	Electro RB	PHILIPS Eco Fit 0,60 m	2.45	8	220-240	15000	800	50/60	6500
LED	Electro RB	PHILIPS Core Pro 0,60 m	4.75	8	220-240	30000	900	50/60	6500
LED	Obra Lux	LUCERNA 0,60 m	3.29	9	85-277	25000	900	50/60	6500
LED	Lumi Lux	OSRAM Glass Value	4	8	100-277	15000	800	50/60	6500
LED	Nanum Light	LED Tubo T8 0,60 m	3.5	9	85-277	30000	900	50/60	6500

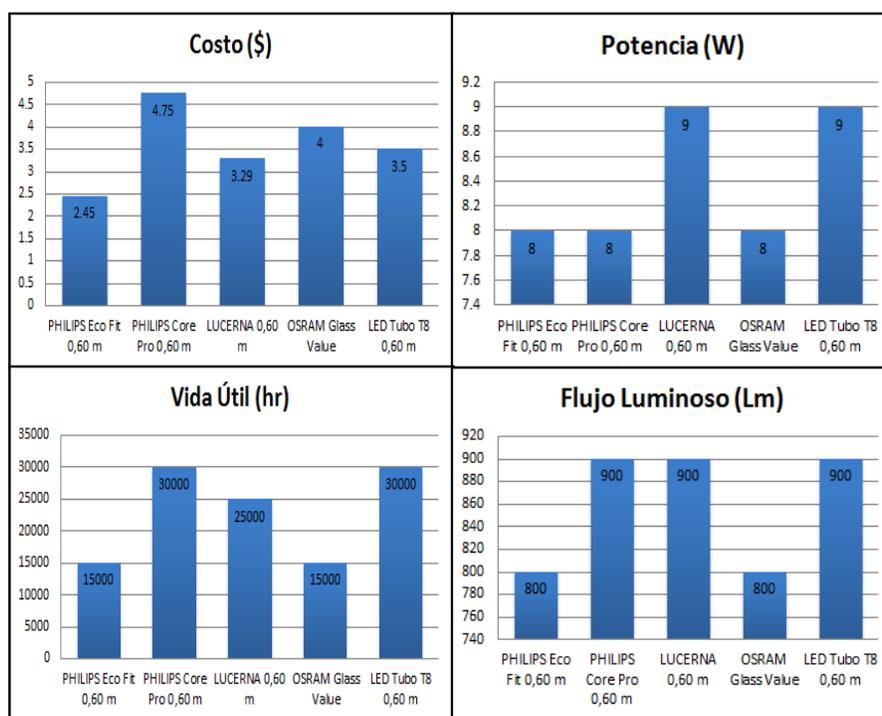


Figura 32 Gráficas Comparativas Tubos LED Luminaria Parabólica.

Se evaluaron 5 productos, de los cuales el seleccionado fue el tubo LED de 9W marca LUCERNA.

3) Luminaria de Emergencia:

Tabla 21 Características Técnicas Luminaria de Emergencia.

PROVEEDORES Y PRODUCTOS									
Luminaria de Emergencia									
Tipo	Proveedor	Modelo	Precio (\$)	Potencia (W)	Tensión (V)	Duración Batería (min)	Lumen (lm)	Frec (Hz)	Temp (K)
LED	Obra Lux	PHILIPS L. Emergencia	46.55	2	120-277	90	220	50/60	6500
LED	Obra Lux	GEL(Green Electric Light)	30	2.4	100-277	90	200	50/60	6500
LED	Eko Iluminación	HAMMER	15	12	110-127	120	200	50/60	3200

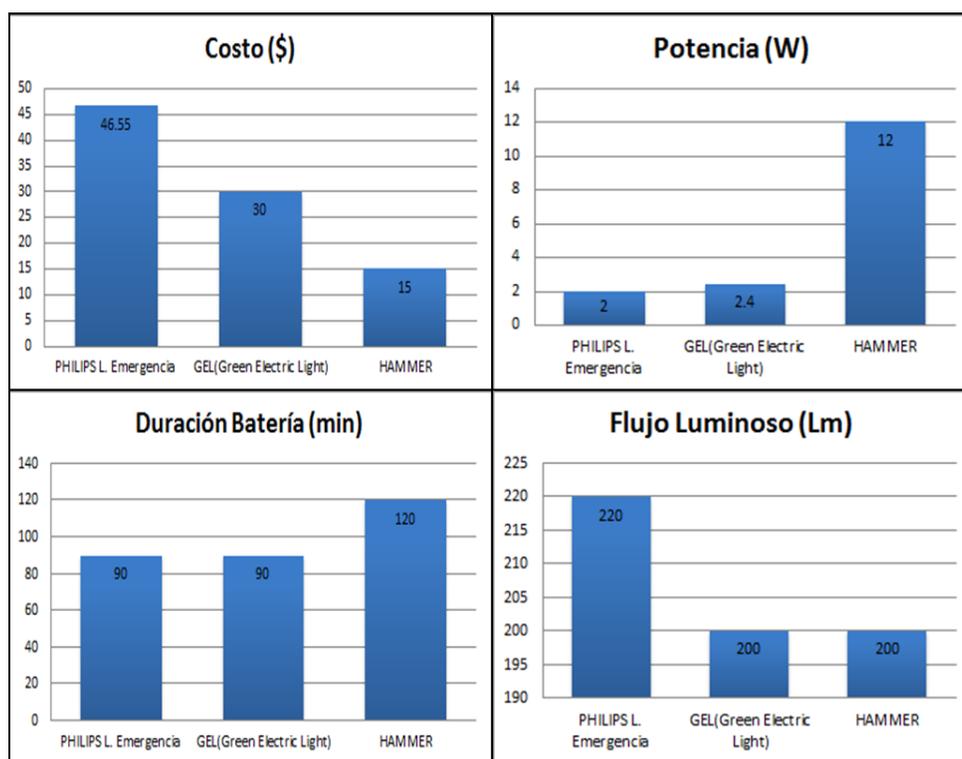


Figura 33 Gráficas Comparativas Luminaria de Emergencia.

Se evaluaron 3 productos, de los cuales el seleccionado fue la Luminaria de Emergencia marca GEL (Green Electric Light).

4) Reflectores:

Tabla 22 Características Técnicas Reflectores.

PROVEEDORES Y PRODUCTOS									
Reflectores									
Tipo	Proveedor	Modelo	Precio (\$)	Potencia (W)	Tensión (V)	Vida Útil (h)	Lumen (lm)	Frec (Hz)	Temp (K)
LED	Electro RB	PHILIPS Flood	172	150	120-277	30000	15000	50/60	6500
LED	Obra Lux	Eco Green Area Light	164.29	150	100-277	120000	21000	50/60	5700
LED	Lumi Lux	Lumi Lux IL-501	49	100	100-277	50000	8500	50/60	6500
LED	Eko Iluminación	LUCERNA Blanco	86	150	85-277	50000	15000	50/60	6500
LED	Obra Lux	LUCERNA Blanco	54	100	95-295	50000	10000	50/60	6000
LED	Lumi Lux	Lumi Lux IL-502	49	100	85-265	50000	10000	50/60	6500
LED	Lumi Lux	OSRAM Flood Light	65	100	85-265	50000	10000	50/60	5000

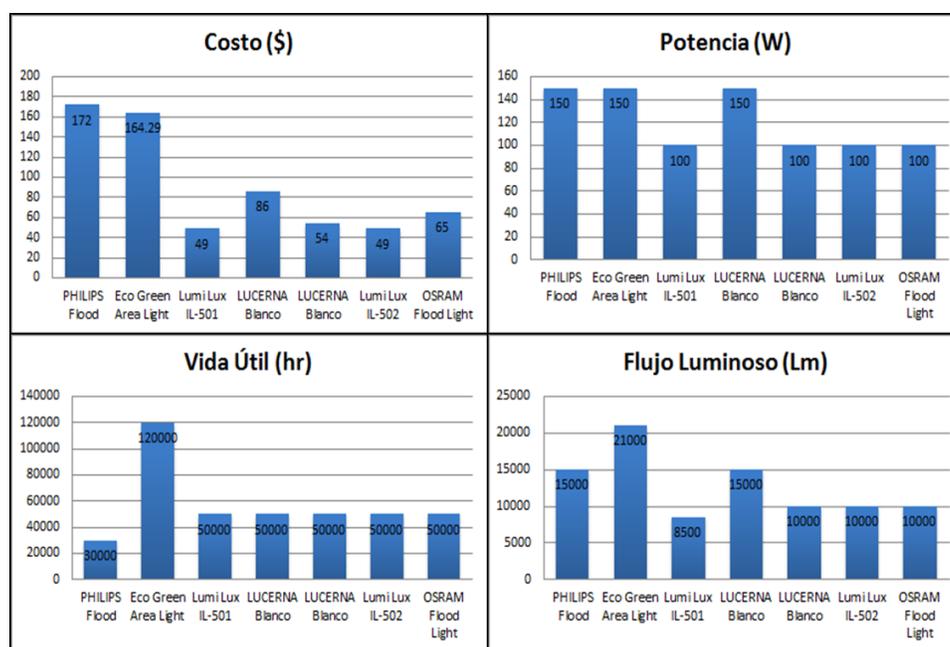


Figura 34 Gráficas Comparativas Reflectores.

Se evaluaron 7 productos, de los cuales el seleccionado fue el reflector LED marca Eco Green Area Light.

B. Análisis de Carga:

No se tomó en cuenta a las lámparas de emergencia para el análisis de carga debido a la naturaleza de las mismas. Asimismo se agregó al análisis de carga el consumo de 6 lámparas Strip Industrial debido a que la ubicación de todos los componentes del sistema fotovoltaico fue planteada sobre una plataforma de 350 m² que se ubicaría sobre el techo del edificio de estacionamiento y debido a esto los espacios para estacionar que estén por debajo de dicha plataforma necesitaran de iluminación.

Tabla 23 Consumo energético – Modelo N°1.

CÁLCULO DE CONSUMO ENERGÉTICO - MODELO N° 1												
Descripción Luminaria	Tipo Corriente	Cantidad	Potencia Unitaria (W)	Potencia Total (w)	Voltaje Aparato (V)	Horas de uso diario (h/d)	Consumo medio diario nominal (KWh/d)	Consumo medio diario real (KWh/d)	Consumo medio diario real + F.S (KWh/d)	Consumo medio diario real + F.S (Ah/d)	Demanda Máxima (W)	
Tubo LED T8 Lucerna 1,20 m	AC	624	18	11232	120	24	269.57	315.28	346.81	2890.11	11232	
Tubo LED T8 Lucerna 0,60 m	AC	32	9	288	120	12	3.46	4.04	4.45	37.05	288	
Reflector Eco Green Area Light	AC	8	150	1200	120	12	14.40	16.84	18.53	154.39	1200	
TOTAL								287.42	336.17	369.79	3081.54	12720

El consumo diario total estimado para el edificio de estacionamiento es de 369,79 KWh/d.

Asimismo, con el objetivo de reducir el consumo diario se consideró la alternativa de colocar en vez de cuatro tubos LED por lámpara industrial instalar solamente 2 tubos.

Tabla 24 Consumo energético – Modelo N°2.

CÁLCULO DE CONSUMO ENERGÉTICO - MODELO N° 2												
Descripción Luminaria	Tipo Corriente	Cantidad	Potencia Unitaria (W)	Potencia Total (w)	Voltaje Aparato (V)	Horas de uso diario (h/d)	Consumo medio diario nominal (KWh/d)	Consumo medio diario real (KWh/d)	Consumo medio diario real + F.S (KWh/d)	Consumo medio diario real + F.S (Ah/d)	Demanda Máxima (W)	
Tubo LED T8 Lucerna 1,20 m	AC	312	18	5616	120	24	134.78	157.64	173.41	1445.05	5616	
Tubo LED T8 Lucerna 0,60 m	AC	32	9	288	120	12	3.46	4.04	4.45	37.05	288	
Reflector Eco Green Area Light	AC	8	150	1200	120	12	14.40	16.84	18.53	154.39	1200	
TOTAL								152.64	178.53	196.38	1636.49	7104

Lo cual arrojó una reducción del consumo energético diario de 53.1 %, quedando el consumo diario total en 196,38 KWh/d y en 65,46 KWh/d por cada fase del sistema trifásico. En función de estos valores se procederá a diseñar el sistema fotovoltaico.

Cabe destacar que dicha modificación no afecta los valores de iluminación mínimos que debe poseer un espacio de estacionamiento, según el manual del alumbrado Westinghouse se especifica que los niveles mínimos recomendados en LUX para aparcamiento de coches son de 300 Lux (Westinghouse, 1982).

C. Tensión del Sistema:

Debido a que la demanda máxima excede los 4000 W se trabajará con un voltaje para el sistema de 48 V. Este parámetro permitirá contar con el amperaje óptimo para la correcta elección del regulador, inversor y número de baterías, sin incurrir en el sobredimensionamiento.

D. Dimensionado del generador fotovoltaico:

1) Localización del Proyecto:

- País: Venezuela.
- Ciudad: Caracas.
- Lugar: Universidad Católica Andrés Bello, Edificio de Estacionamiento:

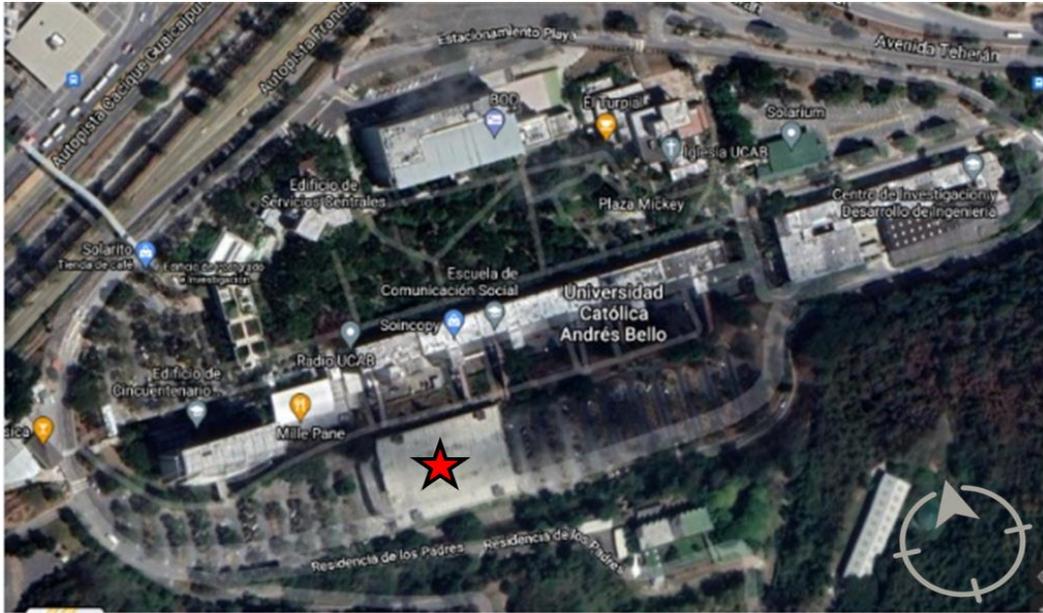


Figura 35 Universidad Católica Andrés Bello (Google, 2021)

- Coordenadas:
 - Latitud: 10.46384 (10° 27' 49.8'' N)
 - Longitud: -66.9769 (66° 58' 36.8'' W)

Los paneles solares serán orientados en dirección Este para de esta forma aprovechar mucho más la radiación solar a lo largo del día.

2) Estudio de Radiación Solar:

A través de la aplicación online gratuita PVGIS (Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica) se evaluaron los datos de radiación solar global mensual del sitio de estudio desde el año 2005 hasta el año 2015, para inclinaciones de panel desde 30°, 40°, 50° y 60°. Finalmente se calculó un promedio por mes de cada inclinación.

Tabla 25 Radiación Solar Caracas UCAB – KWh/m²/mes (PVGIS, 2021).

RADIACIÓN SOLAR CARACAS UCAB - PVGIS (KWh/m ² /mes)													
INCLINACIÓN 30°													
MESES	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	PROM	
Enero	172.64	160.31	178.27	170.39	162.40	210.45	176.84	150.71	166.90	160.60	173.18	171.15	
Febrero	155.25	159.97	183.97	160.43	141.14	188.63	142.86	157.77	164.75	140.81	162.93	159.86	
Marzo	220.03	161.87	185.84	193.91	158.55	193.20	168.55	134.66	169.32	210.52	161.81	178.02	
Abril	155.81	159.79	155.88	163.59	159.02	119.43	123.98	133.34	135.77	152.04	148.75	146.13	
Mayo	135.38	136.30	141.51	141.53	137.96	127.60	118.70	136.76	134.14	130.17	151.65	135.61	
Junio	136.93	129.58	134.79	131.20	132.62	120.43	122.86	131.69	126.10	130.93	126.99	129.47	
Julio	136.80	137.97	142.59	134.04	136.12	128.49	140.20	130.63	140.48	131.64	135.08	135.82	
Agosto	156.05	146.31	135.95	144.04	137.13	137.33	150.00	137.81	137.51	136.27	145.34	142.16	
Septiembre	168.19	171.38	162.94	160.99	162.27	137.56	150.23	100.12	145.11	148.97	171.69	152.68	
Octubre	180.80	168.48	146.97	141.27	165.51	156.68	150.86	161.86	162.29	150.40	164.50	159.06	
Noviembre	141.27	162.87	168.73	137.76	152.68	116.59	131.28	151.92	136.24	151.26	160.21	146.44	
Diciembre	168.89	161.35	154.00	170.99	187.92	161.81	137.65	152.89	150.95	165.30	174.65	162.40	
INCLINACIÓN 40°													
MESES	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	PROM	
Enero	172.88	160.43	178.71	170.65	162.63	212.11	177.29	150.50	167.24	160.60	173.70	171.52	
Febrero	152.05	157.02	180.78	156.85	138.05	185.43	140.13	154.50	161.59	137.64	160.03	156.73	
Marzo	208.62	153.88	177.43	184.09	151.19	183.84	160.61	128.50	161.33	199.59	153.66	169.34	
Abril	143.46	146.53	143.74	149.44	145.73	111.31	115.49	123.90	125.96	139.95	136.08	134.69	
Mayo	121.78	121.66	126.06	125.99	123.25	115.05	108.47	122.25	120.86	116.17	134.83	121.49	
Junio	118.57	113.69	116.96	115.54	116.89	107.05	109.49	116.23	112.42	116.03	112.48	114.12	
Julio	121.13	123.00	124.97	118.07	119.88	115.08	123.85	116.70	124.15	116.71	119.97	120.32	
Agosto	140.31	132.43	124.10	130.47	124.89	125.45	136.01	125.68	125.24	124.03	131.57	129.11	
Septiembre	157.06	160.01	152.90	150.58	152.18	129.43	140.97	92.91	136.64	140.69	160.71	143.10	
Octubre	175.44	163.49	142.35	137.21	160.93	152.20	146.27	157.01	157.49	146.08	159.69	154.38	
Noviembre	140.18	162.32	168.24	136.59	151.93	114.90	129.70	150.92	135.23	150.62	159.52	145.47	
Diciembre	170.62	162.53	154.98	172.46	190.32	163.09	138.08	153.73	151.82	166.75	176.43	163.71	
INCLINACIÓN 50°													
MESES	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	PROM	
Enero	168.98	156.86	174.81	166.82	159.08	208.26	173.47	146.90	163.64	156.91	170.08	167.80	
Febrero	145.34	150.43	173.10	149.66	131.92	177.65	134.34	147.75	154.61	131.44	153.34	149.96	
Marzo	192.00	142.64	164.98	169.97	140.71	170.26	149.20	120.05	149.89	183.76	142.25	156.88	
Abril	128.31	130.42	128.86	132.16	129.53	101.37	105.10	112.36	113.80	125.18	120.91	120.73	
Mayo	106.11	104.91	108.34	108.16	106.38	100.59	96.60	105.61	105.58	100.11	115.47	105.26	
Junio	97.99	95.78	96.94	97.85	99.13	91.91	94.33	98.75	96.89	99.14	96.06	96.80	
Julio	103.30	105.89	104.92	99.91	101.36	99.72	105.20	100.75	105.53	99.71	102.70	102.64	
Agosto	122.02	116.13	110.11	114.63	110.56	111.57	119.56	111.41	110.89	109.79	115.65	113.85	
Septiembre	142.45	145.00	139.62	136.90	138.80	118.87	128.81	83.74	125.48	129.78	146.14	130.51	
Octubre	166.01	154.82	134.79	130.41	152.74	144.46	138.66	148.78	149.30	138.75	151.37	146.37	
Noviembre	136.05	157.94	163.77	132.41	147.72	110.99	125.52	146.58	131.31	146.57	155.17	141.28	
Diciembre	168.19	159.90	152.36	169.80	187.94	160.53	135.47	151.12	149.24	164.23	173.89	161.15	
INCLINACIÓN 60°													
MESES	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	PROM	
Enero	161.01	149.65	166.65	159.00	151.79	198.96	165.46	139.97	156.16	149.61	162.41	160.06	
Febrero	135.27	140.35	161.11	139.05	122.90	165.47	125.63	137.70	143.99	122.36	143.01	139.71	
Marzo	170.60	128.42	148.81	151.90	127.36	152.79	134.60	109.53	135.27	163.44	127.88	140.96	
Abril	110.71	111.78	111.64	112.17	110.84	89.87	93.02	99.03	99.65	108.12	103.54	104.58	
Mayo	88.87	86.83	89.05	88.70	87.90	84.45	83.29	87.47	88.73	82.58	94.00	87.44	
Junio	77.32	77.51	76.65	79.61	81.01	76.66	78.57	80.78	80.79	81.67	79.07	79.06	
Julio	84.65	87.40	83.96	80.60	81.75	83.17	85.50	83.80	85.99	81.72	84.17	83.88	
Agosto	101.47	97.80	94.33	96.79	94.39	95.89	100.99	95.28	94.66	93.80	97.78	96.65	
Septiembre	124.77	126.77	123.45	120.33	122.49	106.15	114.09	72.87	111.92	116.52	128.38	115.25	
Octubre	152.74	142.66	124.48	121.01	141.12	133.65	128.23	137.36	137.92	128.58	139.72	135.22	
Noviembre	128.96	149.83	155.39	125.31	140.12	104.94	118.84	138.98	124.57	139.22	147.25	133.95	
Diciembre	161.65	153.51	146.19	163.04	180.80	154.17	129.86	145.10	143.24	157.79	167.06	154.76	

Tabla 26 Tabla de radiaciones promedio (KWh/m²/mes).

TABLA DE RADIACIONES (KWh/m ² /mes)				
INCLINACIONES				
MESES	30°	40°	50°	60°
Enero	171.15	171.52	167.80	160.06
Febrero	159.86	156.73	149.96	139.71
Marzo	178.02	169.34	156.88	140.96
Abril	146.13	134.69	120.73	104.58
Mayo	135.61	121.49	105.26	87.44
Junio	129.47	114.12	96.80	79.06
Julio	135.82	120.32	102.64	83.88
Agosto	142.16	129.11	113.85	96.65
Septiembre	152.68	143.10	130.51	115.25
Octubre	159.06	154.38	146.37	135.22
Noviembre	146.44	145.47	141.28	133.95
Diciembre	162.40	163.71	161.15	154.76

Tabla 27 Tabla de radiaciones promedio (KWh/m²/día).

TABLA DE RADIACIONES (KWh/m ² /día)				
INCLINACIONES				
MESES	30°	40°	50°	60°
Enero	5.71	5.72	5.59	5.34
Febrero	5.33	5.22	5.00	4.66
Marzo	5.93	5.64	5.23	4.70
Abril	4.87	4.49	4.02	3.49
Mayo	4.52	4.05	3.51	2.91
Junio	4.32	3.80	3.23	2.64
Julio	4.53	4.01	3.42	2.80
Agosto	4.74	4.30	3.79	3.22
Septiembre	5.09	4.77	4.35	3.84
Octubre	5.30	5.15	4.88	4.51
Noviembre	4.88	4.85	4.71	4.46
Diciembre	5.41	5.46	5.37	5.16

La hora solar pico (HPS) para 30° de inclinación es de 4.32 horas.

Tabla 28 Tabla Cocientes Consumo / Radiación.

TABLA COCIENTES CONSUMO/RADIACIÓN				
INCLINACIONES				
MESES	30°	40°	50°	60°
Enero	34.42	34.35	35.11	36.81
Febrero	36.85	37.59	39.29	42.17
Marzo	33.09	34.79	37.55	41.79
Abril	40.32	43.74	48.80	56.33
Mayo	43.44	48.49	55.97	67.37
Junio	45.51	51.62	60.86	74.52
Julio	43.38	48.96	57.40	70.23
Agosto	41.44	45.63	51.75	60.95
Septiembre	38.59	41.17	45.14	51.12
Octubre	37.04	38.16	40.25	43.57
Noviembre	40.23	40.50	41.70	43.98
Diciembre	36.28	35.99	36.56	38.07

La inclinación óptima para los paneles solares es de 30° y corresponde al mes de Junio.

3) Módulos Fotovoltaicos:

Tabla 29 Datos previos para el diseño Generador Fotovoltaico.

DATOS	
Consumo Diario (KWh/d)	196,38
HPS para 30° Inclinación (hr)	4,32
Tensión del Sistema (V)	48

Tabla 30 Características Técnicas Paneles Solares.

PROVEDORES Y PRODUCTOS PANELES SOLARES													
Proveedor	Marca	Serial	Precio (\$)	Potencia (W)	Voltaje (V)	N° Celdas	Eficiencia (%)	Vida Útil (años)	Máximo Voltaje del Sistema (V)	Voltaje Circuito Abierto Voc (V)	Corriente de Cortocircuito Isc	Máx Capacidad de Voltaje Vmpp (V)	Máx Capacidad de Corriente Imp (A)
Proelca	Jinko Solar	JKM395M-72H	200	395	24	72	19.63	25	1500	49.5	10.23	41.4	9.55
Mercado Libre	EPCOM	EPL33024	185	330	24	72	17.01	25	1500	46.79	9.18	37.87	8.71
Mercado Libre	GC	GC-325WP	240	325	24	72	16	25	600	58.08	7.15	48	6.66

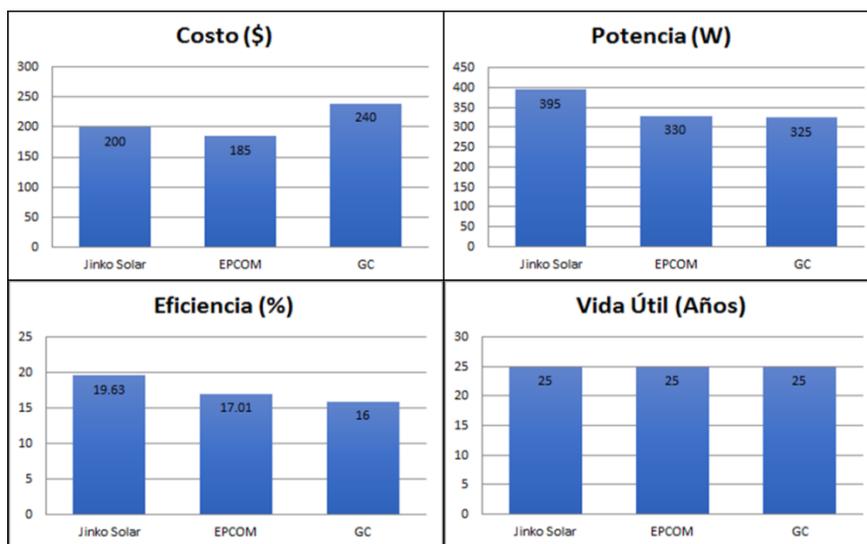


Figura 36 Gráficas Comparativas Paneles Solares.

Tabla 31 Cálculo de Generador Fotovoltaico.

CÁLCULO DE GENERADOR FOTOVOLTAICO	
Potencia Fotovoltaica (KW)	N° de Paneles
45.46	115
	138
	140

Se evaluaron 3 productos, de los cuales el seleccionado fue el panel solar de silicio monocristalino marca Jinko Solar.

4) Regulador o Controlador de Carga:

Tabla 32 Datos previos para diseño de Regulador de Carga.

DATOS	
Tensión del Sistema (V)	48
Potencia Módulo FV (W)	395
Número de Paneles FV	115
Voltaje Circuito Abierto Voc (V)	49.5
Corriente Cortocircuito Isc (A)	10.23

Tabla 33 Características Técnicas Reguladores de Carga.

PROVEDORES Y PRODUCTOS REGULADOR DE CARGA									
Proveedor	Marca	Tipo	Serial	Precio (\$)	Potencia Max (W)	Voltaje Batería (V)	Voc Max FV (V)	Isc Max FV (A)	Eficiencia (%)
Mercado Libre	Must Solar	MPPT	PC18-8015F	240	5000	48	145	80	98
ECOTELVE	SRNE	MPPT	SR -MC48100N25	752.4	5200	48	250	100	99
ECOTELVE	Victron Energy 1	MPPT	Rs Smart Solar 450/100	2080.2	5800	48	450	100	96
ECOTELVE	Victron Energy 2	MPPT	Rs Smart Solar 450/200	3640.434	11500	48	450	200	96

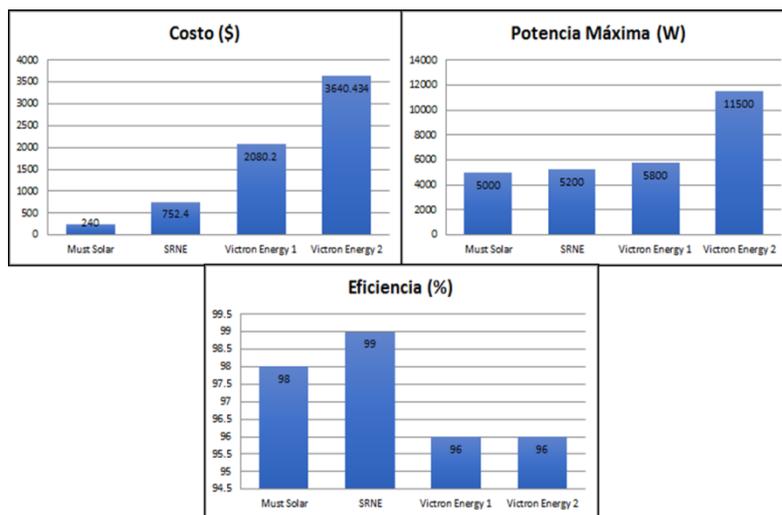


Figura 37 Gráficas Comparativas Reguladores de Carga.

Tabla 34 Cálculo de Regulador de Carga.

CÁLCULO DE REGULADOR DE CARGA					
Corriente Entrada por Regulador (A)	N° Reguladores	N° Paneles en Serie por Regulador	N° Paneles en Paralelo por Regulador	N° Paneles Totales por Regulador	Potencia por Regulador (W)
40.92	10	3	4	12	4628
30.69	10	4	3	12	4740
20.46	9	7	2	14	5530
30.69	5	9	3	27	10665

Se evaluaron 4 productos, de los cuales el seleccionado fue el regulador de carga marca Must Solar.

5) Baterías:

Tabla 35 Datos previos para diseño de Baterías.

DATOS	
Tensión del Sistema (V)	48
Consumo Diario (KWh/d)	196,38
Días de Autonomía (d)	2
Profundidad de Descarga (%)	80

Tabla 36 Características Técnicas Baterías.

PROVEDORES Y PRODUCTOS BATERÍAS							
Proveedor	Marca	Serial	Precio (\$)	Capacidad Batería (Ah)	Voltaje Batería (V)	Regimen de Descarga	Vida Útil (años)
Proelca	Aokly	6GFM250G	343	250	12	C10	15
ECOTELVE	Ultracell	UZV600-6	826.4	600	6	C120	20
ECOTELVE	Formula Star	8FST 1380	627.3	1382	2	C120	18

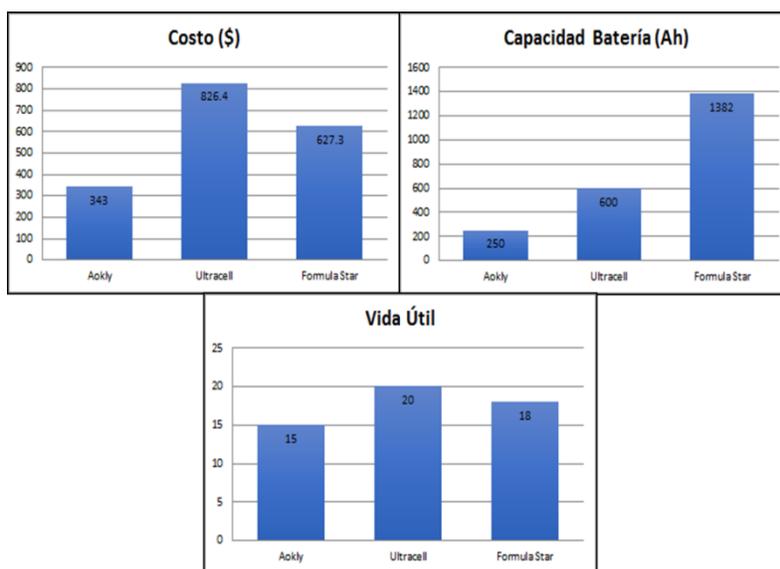


Figura 38 Gráficas Comparativas Baterías.

Tabla 37 Cálculo de Baterías.

CÁLCULO DE BATERÍAS			
Capacidad Batería Sistema (A)	N° Baterías Serie	N° Baterías Paralelo	N° Baterías Totales
10228.13	4	41	164
	8	17	136
	24	7	178

Se evaluaron 3 productos, de los cuales el seleccionado fue la batería marca Aokly.

6) Inversor de Corriente:

Tabla 38 Datos previos para diseño de Inversor de Corriente.

DATOS	
Demanda Máxima (W)	7104
Tensión del Sistema (V)	48

Tabla 39 Características Técnicas Inversor de Corriente.

PROVEDORES Y PRODUCTOS INVERSOR DE CORRIENTE								
Proveedor	Marca	Serial	Tipo	Precio (\$)	Potencia Nominal (W)	Voltaje Nominal Entrada (V)	Voltaje Nominal Salida (V)	Eficiencia (%)
Mercado Libre	RP.Series	RP8-12KW	Onda Senoidal Pura	1900	8000	48	100-110-120/220-230-240	90

Tabla 40 Cálculo de Inversor de Corriente.

CÁLCULO DE INVERSOR DE CORRIENTE
N° Inversores Total
1

También se evaluó la alternativa de utilizar un inversor cargador, el cual es un dispositivo que posee integrado además del inversor de corriente un regulador MPPT y puede cumplir ambas funciones dentro del sistema.

Tabla 41 Datos previos para diseño de Inversor Cargador.

DATOS	
Tensión del Sistema (V)	48
Demanda Máxima (W)	7104
Potencia Módulo FV (W)	395
Número de Paneles FV	115
Voltaje Circuito Abierto Voc (V)	49.5
Corriente Cortocircuito Isc (A)	10.23

Tabla 42 Características Técnicas Inversor Cargador.

PROVEDORES Y PRODUCTOS INVERSOR CARGADOR (INVERSOR + REGULADOR)												
Proveedor	Marca	Tipo	Serial	Precio (\$)	Potencia Max FV (W)	Voltaje Batería (V)	Voc Max FV (V)	Isc Max FV (A)	Eficiencia (%)	Potencia Nominal (W)	Voltaje Nominal Entrada (V)	Voltaje Nominal Salida (V)
Mercado Libre	MPP Solar 2	MPPT	LV-5048	1950	8000	48	145	160	90	5000	48	110/120

Tabla 43 Cálculo Inversor Cargador parte Regulador de Carga.

CÁLCULO DE REGULADOR DE CARGA					
Corriente Entrada por Regulador (A)	N° Inversor Cargador (Iteración 1)	N° Paneles en Serie por Regulador	N° Paneles en Paralelo por Regulador	N° Paneles Totales por Regulador	Potencia por Regulador (W)
61.38	7	3	6	18	7110

Tabla 44 Cálculo Inversor Cargador parte Inversor de Corriente.

CÁLCULO DE INVERSOR DE CORRIENTE
N° de Inversor Cargador (Iteración 2)
2.00

Finalmente el producto seleccionado fue el inversor de corriente marca RP Series.

7) Presupuesto:

Tabla 45 Presupuesto SFV aislado para Edificio Estacionamiento.

PRESUPUESTO SFV AISLADO EDIFICIO ESTACIONAMIENTO					
Fecha 30/06/21					
N° Partida	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Total (\$)
1	Suministro LUCERNA 1,20 m	UN	312	3.75	1,169.53
2	Instalación LUCERNA 1,20 m	S/G	1	389.84	389.84
3	Suministro LUCERNA 0,60 m	UN	16	3.45	55.27
4	Instalación LUCERNA 0,60 m	S/G	1	18.42	18.42
5	Suministro Lampara Emergencia GEL	UN	46	31.50	1,449.00
6	Instalación Lampara Emergencia GEL	S/G	1	483.00	483.00
7	Suministro Reflector Eco Green Area Light	UN	8	172.50	1,380.04
8	Instalación Reflector Eco Green Area Light	S/G	1	483.00	483.00
9	Suministro Lampara Strip Industrial Lumi Lux	UN	6	13.13	78.75
10	Instalación Lampara Strip Industrial Lumi Lux	S/G	1	26.25	26.25
11	Adecuación Luminaria Fluorescente a LED	S/G	1	1,640.00	1,640.00
12	Suministro Panel Solar Jinko Solar	UN	114	210.00	23,940.00
13	Suministro Regulador Must Solar	UN	10	252.00	2,520.00
14	Suministro Baterías Aokly	UN	162	360.15	58,344.30
15	Suministro Inversor de Corriente RP Series	UN	1	1,995.00	1,995.00
16	Suministro Soportes para Paneles Solares	UN	28	225.75	6,321.00
17	Suministro Cableado SFV Rollo 100 mt	UN	4	210.00	840.00
18	Instalación Sistema Fotovoltaico	S/G	1	31,840.10	31,840.10
				TOTAL	132,973.51

CAPÍTULO 5 – ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con motivo de realizar la comparación económica entre las distintas alternativas de estudio planteadas en el trabajo de investigación, se decidió utilizar los indicadores financieros del Valor Presente Neto (VPN) y el Valor Anual Equivalente (VAE) con una tasa de descuento del 10%, para de esta manera asociarlos al costo de cada alternativa y seleccionar cual será la más rentable. Además se consideró en cada uno de los casos propuestos la reinversión de los equipos que cumplen con su vida útil durante el tiempo evaluado.

5.1 PRIMERA PARTE

5.1.1 Jardín Interno

- Luminaria LED:

Se realizó la evaluación para un período de 4 años.

Tabla 46 Análisis Costo Total Luminaria LED Jardín Interno.

COSTO TOTAL LUMINARIA LED JARDÍN INTERNO		
Descripción	Costo	VPN
Inversión Inicial	787.63	787.63
Costo Anual Electricidad	1,042.74	947.95
Reinversión a los 3 años Reflectores LUCERNA.	64.69	48.6
Reinversión a los 3 años Bombillos LUCERNA Bulbo (E27).	51.95	39.03
	VPN TOTAL (\$.)	1,823.21
	VAE (\$.)	575.17

- Luminaria Solar:

Se realizó la estimación para un período de 8 años.

Tabla 47 Análisis Costo Total Luminaria Solar + LED Jardín Interno.

COSTO TOTAL LUMINARIA SOLAR + LED JARDÍN INTERNO		
Descripción	Costo	VPN
Inversión Inicial	1777.83	1777.83
Costo Anual Eléctricidad	1,042.09	947.36
Reinversión a los 3 años Reflectores con Panel Solar.	218.02	163.8
Reinversión a los 6 años Reflectores con Panel Solar.	290.18	163.8
Reinversión a los 3 años Bombillos LUCERNA Bulbo (E27).	51.95	39.03
Reinversión a los 6 años Bombillos LUCERNA Bulbo (E27).	69.14	39.03
VPN TOTAL (\$.)		3,130.85
VAE (\$.)		586.86

Los periodos de evaluación para la aplicación del VPN se eligieron en función del componente con mayor vida útil de cada alternativa. Finalmente se utilizó el método del VAE que permite evaluar proyectos con horizontes temporales diferentes, permitiendo de esta manera seleccionar la mejor alternativa desde el punto de vista económico.

Se escogió la alternativa de Luminaria LED para el área de Jardín Interno.

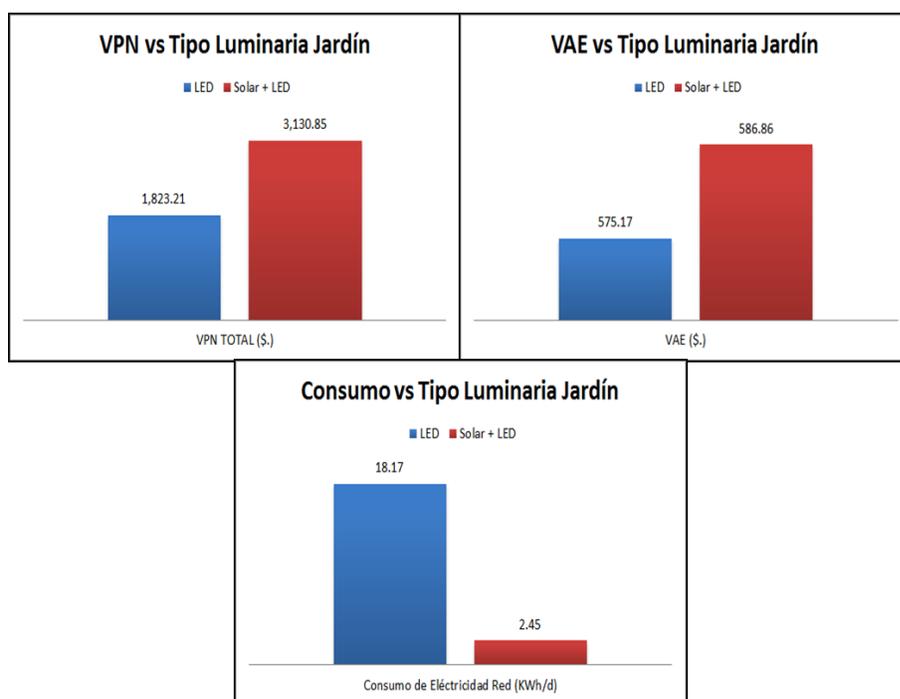


Figura 39 Gráficas Comparativas Alternativas Luminaria Jardín Interno.

5.1.2 Estacionamiento Profesores

- Luminaria LED:

Se realizó la estimación para un período de 5 años.

Tabla 48 Análisis Costo Total Luminaria LED Estacionamiento Profesores.

COSTO TOTAL LUMINARIA LED ESTACIONAMIENTO PROFESORES		
Descripción	Costo	VPN
Inversión Inicial	928.62	928.62
Costo Anual Electricidad	1,042.73	947.94
	VPN TOTAL (\$.)	1,876.56
	VAE (\$.)	495.03

- Luminaria Solar:

Se realizó la evaluación para un período de 3 años.

Tabla 49 Análisis Costo Total Luminaria Solar Estacionamiento Profesores.

COSTO TOTAL LUMINARIA SOLAR ESTACIONAMIENTO PROFESORES		
Descripción	Costo	VPN
Inversión Inicial	896	896
Costo Anual Electricidad	1,042.73	947.94
	VPN TOTAL (\$.)	1,843.94
	VAE (\$.)	741.48

Fueron utilizados los métodos de modelado financiero VPN y VAE para el análisis de las alternativas.

Finalmente se eligió la alternativa de Luminaria LED para Estacionamiento Profesores.

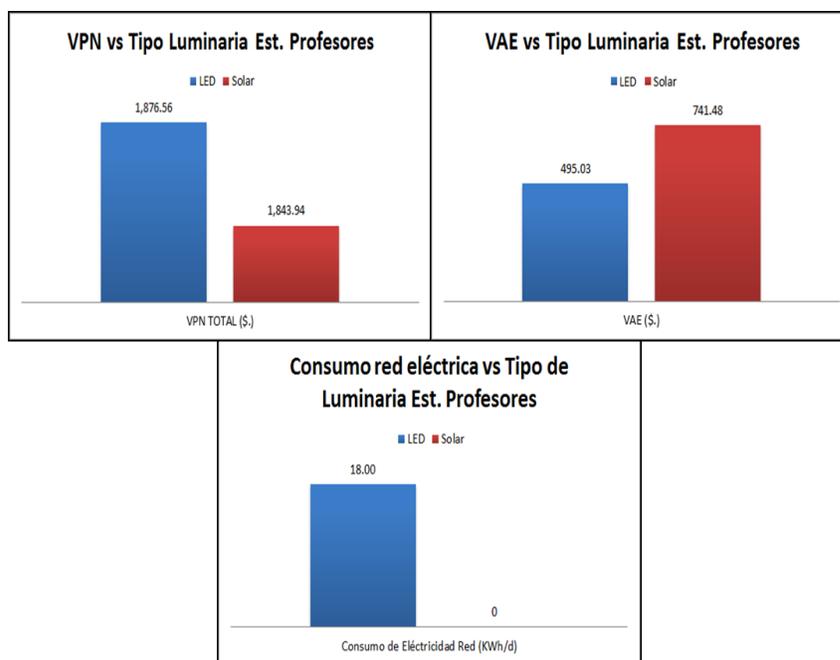


Figura 40 Gráficas Comparativas Alternativas Luminaria Est. Profesores.

5.2 SEGUNDA PARTE

5.2.1 Sistema Fotovoltaico Edificio Estacionamiento

- Luminaria LED (Únicamente):

Se realizó la evaluación para un período de 12 años.

Tabla 50 Análisis Costo Total Luminaria LED Edificio de Estacionamiento.

COSTO TOTAL LUMINARIA LED EDIFICIO DE ESTACIONAMIENTO		
Descripción	Costo	VPN
Inversión Inicial	7,068.11	7068.11
Costo Anual Electricidad	1,050.49	954.99
Reinversión a los 3 años T8 LUCERNA 1,20 m	2,075.52	1559.37
Reinversión a los 6 años T8 LUCERNA 1,20 m	2,762.52	1559.37
Reinversión a los 9 años T8 LUCERNA 1,20 m	3,676.91	1559.37
Reinversión a los 3 años T8 LUCERNA 0,60 m	98.08	73.69
Reinversión a los 6 años T8 LUCERNA 0,60 m	130.55	73.69
Reinversión a los 9 años T8 LUCERNA 0,60 m	173.76	73.69
VPN TOTAL (\$.)		12,922.28
VAE (\$.)		1,896.52

- Sistema Fotovoltaico:

Se realizó la estimación para un período de 24 años.

Tabla 51 Análisis Costo Total SFV + LED Edificio de Estacionamiento.

COSTO TOTAL SISTEMA FOTOVOLTAICO + LED EDIFICIO DE ESTACIONAMIENTO		
Descripción	Costo	VPN
Inversión Inicial	132,973.51	132,973.51
Costo Anual Electricidad	1,050.49	954.99
Reinversión a los 3 años T8 LUCERNA 1,20 m	2,075.52	1,559.37
Reinversión a los 6 años T8 LUCERNA 1,20 m	2,762.52	1,559.37
Reinversión a los 9 años T8 LUCERNA 1,20 m	3,676.91	1,559.37
Reinversión a los 12 años T8 LUCERNA 1,20 m	4,893.97	1,559.37
Reinversión a los 15 años T8 LUCERNA 1,20 m	6,513.88	1,559.37
Reinversión a los 18 años T8 LUCERNA 1,20 m	8,669.97	1,559.37
Reinversión a los 21 años T8 LUCERNA 1,20 m	11,539.73	1,559.37
Reinversión a los 3 años T8 LUCERNA 0,60 m	98.08	73.69
Reinversión a los 6 años T8 LUCERNA 0,60 m	130.55	73.69
Reinversión a los 9 años T8 LUCERNA 0,60 m	173.76	73.69
Reinversión a los 12 años T8 LUCERNA 0,60 m	231.27	73.69
Reinversión a los 15 años T8 LUCERNA 0,60 m	307.82	73.69
Reinversión a los 18 años T8 LUCERNA 0,60 m	409.71	73.69
Reinversión a los 21 años T8 LUCERNA 0,60 m	545.32	73.69
Reinversión a los 12 años Reflectores	5,847.02	1,863.04
Reinversión a los 15 años Baterías Aokly	324,958.16	77,792.40
VPN TOTAL (\$.)		225,015.36
VAE (\$.)		25,044.16

Con la ayuda de los métodos del VPN y VAE se analizó la alternativa de reemplazo por luminaria LED e implementación de sistema fotovoltaico aislado para Edificio de Estacionamiento. Asimismo también se hizo el análisis de costo únicamente para el reemplazo por luminaria LED.

Finalmente se eligió la alternativa de Luminaria LED para Edificio Estacionamiento.

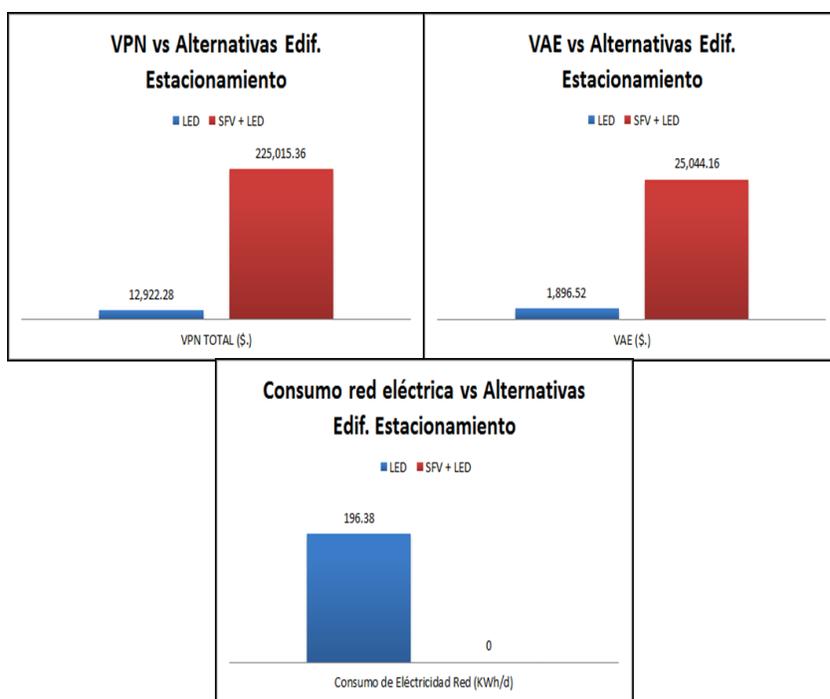


Figura 41 Gráficas Comparativas Alternativas Edif. Estacionamiento.

CONCLUSIONES

Actualmente en cuanto a iluminación, la tecnología LED ha desplazado a las luminarias tradicionales, generando así una transición a nivel mundial que tiende hacia un tipo de tecnología que es capaz de reducir el consumo lo cual incide favorablemente en el costo de la electricidad, además provee una mayor vida útil a menor costo, es capaz de trabajar con voltajes bajos, está libre de elementos tóxicos, posee mayor capacidad de iluminación, entre otras. Asimismo las luminarias Solares también trabajan con tecnología LED.

En el presente trabajo de investigación después de un análisis técnico y económico para las luminarias, el cual fue bastante parejo, se escogieron las alternativas LED por encima de las Solares porque el precio por consumo mensual de energía eléctrica en Venezuela es de aproximadamente 0,25 ctv.USD/KWh según (CORPOELEC) lo cual ayudó a hacer que esta opción tuviera mayor factibilidad económica, sin embargo en otras regiones de Latinoamérica las tarifas por electricidad según (Bnamericas, 2019) van desde 12,23 ctv.USD/KWh para Colombia, 8,26 ctv.USD/KWh para Brasil, 15,01 ctv.USD/KWh para Chile y 23,08 ctv.USD/KWh para Uruguay, por lo cual en ese tipo de casos las luminarias Solares además de su ventaja ambiental representan una buena alternativa de elección y deben considerarse.

Además la presente investigación reveló para las alternativas escogidas una reducción en el consumo con respecto a las luminarias tradicionales de 60 % que son 9.745,5 KWh/año para el área de Jardines Internos, 62,5% que son 10.950 KWh/año para el Estacionamiento de Profesores. Lo cual pone en evidencia el hecho de que la UCAB debería hacer una transición completa a la tecnología LED para su iluminación aprovechando los postes y cableado existentes que reducirán el costo de suministro e instalación de los mismos.

Con respecto a la alternativa para la implementación de un sistema fotovoltaico aislado + reemplazo por luminaria LED en el Edificio de Estacionamiento se comprobó que para Venezuela es factible desde el punto tecnológico ya que existen diversas empresas que se encargan de la comercialización, asesoría e instalación de estos equipos y existen variedad de productos.

Asimismo el análisis técnico y económico para esta alternativa deja ver que la sustitución de luminaria tradicional por luminaria LED reduce notablemente el consumo de la instalación en un 71,95% que son 183.843,20 KWh/año lo cual incide en la reducción del número de componentes que conforman el sistema fotovoltaico necesarios para satisfacer la demanda, lo cual es positivo ya que se generó un menor costo asociado al sistema fotovoltaico. Sin embargo el costo de inversión para el sistema fotovoltaico aislado fue bastante elevado ya que los mismos requieren un banco de baterías el cual posee un costo que representa aproximadamente la mitad de la inversión. Además se determinó que la instalación de un sistema aislado en una ubicación tal como la UCAB no es factible desde el punto de vista económico ya que el sitio posee acceso a la red eléctrica y los sistemas aislados son generalmente para sitios remotos o rurales sin acceso a la red eléctrica y para los cuales la inversión en un sistema fotovoltaico es menor que el costo de hacer llegar el tendido eléctrico al sitio.

Sin embargo a pesar de lo anteriormente expuesto y que actualmente las tarifas por consumo de energía eléctrica en Venezuela son bajas no se debe descartar la futura implementación de sistemas fotovoltaicos en la UCAB ya sea para mitigar los efectos de la crisis eléctrica nacional, para utilizar dichos proyectos con fines pedagógicos, por motivos ambientales como la reducción de la huella de carbono emitida por la Institución o para cumplir con el Plan Estratégico UCAB 20-20 desde el punto de vista de la sustentabilidad.

RECOMENDACIONES

Con respecto al área de Estacionamiento Profesores se recomienda la instalación de un poste de alumbrado público de un brazo con su respectiva luminaria LED en la parte central de la Isla 1. Ver Figura 24.

Asimismo para el área del Jardín Interno se exhorta a aumentar la altura de los postes de 2,5 m a 3,5 m para la futura implementación de luminarias más tecnológicas y potentes tales como la luminarias Solar del presente estudio que posee una altura de montaje superior a los 2,5 m y que el hecho de colocarlas en los postes actuales sería subutilizar su verdadera capacidad.

Aunque no sea factible desde el punto de vista económico la implantación del sistema fotovoltaico aislado en el Edificio de Estacionamiento, se sugiere la transición de luminaria tradicional a luminaria LED descrita en el presente trabajo de investigación para reducir el consumo de dicho espacio y disminuir gastos asociados a tarifas por consumo de energía eléctrica. Además se recomienda la evaluación de posibles alternativas de sistemas fotovoltaicos o sistemas híbridos (eólico-solar) que estén interconectados a la red eléctrica para consumos pequeños y áreas específicas dentro del campus UCAB ya que dicho tipo de sistemas no poseen banco de baterías el cual representa aproximadamente el 50% del costo del sistema, lo cual reduce el costo de inversión y puede hacer dicho proyecto factible económicamente. También se propone la búsqueda por parte de la Institución del patrocinio de grandes empresas y bancos para el financiamiento de futuros proyectos de energía fotovoltaica dentro de la UCAB con el fin de promover la responsabilidad ambiental entre la comunidad universitaria, referencias pedagógicas al estudiante y cumplimiento del objetivo enmarcado en el Eje 8: Sustentabilidad Ambiental del Plan Estratégico: UCAB 20-20.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIONA. (18 de Enero de 2021). *Áreas de actividad eólica*. Obtenido de ACCIONA:
<https://www.accion-energy.com/es/areas-de-actividad/eolica/>

ACCIONA. (18 de Enero de 2021). *DESARROLLO SOSTENIBLE ¿Qué es y cómo alcanzarlo?*
 Obtenido de ACCIONA: <https://www.accion.com/es/desarrollo-sostenible/#:~:text=La%20sostenibilidad%20es%20el%20desarrollo,ambiente%20y%20el%20bienestar%20social.>

Alcubierre, D. (2019). *Tipos de Sistemas de Energía Solar Fotovoltaica*. Obtenido de Cemaer:
<https://www.cemaer.org/tipos-de-sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica/#:~:text=Existen%20dos%20tipos%20de%20sistemas,interconectados%20a%20la%20red%20el%C3%A9ctrica>

Alonso, J. (2019). *Radiación, Geometría, Recorrido óptico, Irradiancia y HSP*. Obtenido de Sun Fields Europa:
<https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/>

Alonso, J. (2020). *Manual de cálculo de instalación fotovoltaica aislada*. Obtenido de Sun Fields Europe: <https://www.sfe-solar.com/baterias-solares/manual-calculo/>

Antala Industria. (19 de Septiembre de 2018). *¿Qué es la energía eólica y cómo funciona?*
 Obtenido de Antala: <https://www.antala.es/energia-eolica-que-es/>

Antala Industria. (13 de Septiembre de 2019). *Conoce las ventajas y desventajas de la energía eólica*. Obtenido de Antala: <https://www.antala.es/ventajas-y-desventajas-energia-eolica/#:~:text=sus%20principales%20beneficios%3A-1.,produce%20emisiones%20atmosf%C3%A9ricas%20ni%20contaminantes>

Antala Industria. (s.f.). *Conoce las ventajas y desventajas de la energía*. Obtenido de ANTALA: <https://www.antala.es/ventajas-y-desventajas-energia-eolica/#:~:text=sus%20principales%20beneficios%3A-1.,produce%20emisiones%20atmosf%C3%A9ricas%20ni%20contaminantes>.

ATERSA. (2019). *Cómo funciona una célula fotovoltaica*. Obtenido de ATERSA: <https://atersa.shop/como-funciona-una-celula-fotovoltaica/>

AulaFacil. (18 de Enero de 2021). *HPS (Horas Pico Sol)*. Obtenido de AulaFacil: <https://www.aulafacil.com/cursos/medio-ambiente/energia-solar-fotovoltaica-1/hps-horas-pico-sol-l37870>

Autosolar. (19 de Abril de 2015). *¿Que es un panel solar?* Obtenido de Autosolar: <https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/que-es-un-panel-solar#:~:text=Un%20panel%20solar%20es%20un,para%20generar%20calor%20o%20electricidad.&text=Los%20paneles%20solares%20fotovoltaicos%20constan,la%20radiaci%C3%B3n%20solar%20en%20electricidad>.

AVIEM. (14 de Julio de 2020). *SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL – PLAN PAÍS*. Obtenido de Asociación Venezolana de Ingeniería Eléctrica, Mecánica y profesiones afines - AVIEM: <https://aviem.org/sistema-electrico-nacional-plan->

geotermia/#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20la%20energ%C3%ADa%20Geot%C3%A9rmica,energ%C3%ADa%20limpia%20de%20forma%20indefinida.

ClickRenovables. (26 de Febrero de 2015). *Como calcular una instalación solar fotovoltaica en 5 pasos*. Obtenido de ClickRenovables: <https://clickrenovables.com/blog/como-calcular-una-instalacion-solar-fotovoltaica-en-5-pasos/>

CNN Español. (13 de Marzo de 2019). *Cronología del apagón en Venezuela: día a día de una crisis en la penumbra*. Obtenido de CNN Español: <https://cnnespanol.cnn.com/2019/03/13/cronologia-del-apagon-en-venezuela-dia-a-dia-de-una-crisis-en-la-penumbra/>

Dexen Energy. (18 de Enero de 2021). *¿CÓMO FUNCIONAN LOS PANELES SOLARES INTERCONECTADOS A LA RED?* Obtenido de Dexen: <https://www.dexen.mx/paneles-solares/funcionan-los-paneles-solares-interconectados-la-red/>

ECYT-AR. (24 de Noviembre de 2017). *Irradiación Solar*. Obtenido de ECYT-AR: https://cyt-ar.com.ar/cyt-ar/index.php/Irradiaci%C3%B3n_solar

Educ.ar. (18 de Enero de 2021). *Los recursos naturales y sus transformaciones energéticas*. Obtenido de Energías de mi país: <http://energiasdemipais.educ.ar/energias-primarias-y-secundarias/>

Educar Chile. (2019). *Energía undimotriz*. Obtenido de Aprende con Energía: <https://www.aprendeconenergia.cl/energia-undimotriz/>

Eliseo, S. (21 de Agosto de 2018). *Análisis de la curva I-V en paneles fotovoltaicos*. Obtenido de

EliseoSebastian: <https://eliseosebastian.com/analisis-de-la-curva-iv-en-paneles-fotovoltaicos/>

Enel Green Power. (18 de Enero de 2021). *Energía marina*. Obtenido de Enel Green Power:

<https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-marina>

Enel Green Power. (18 de Enero de 2021). *La energía hidroeléctrica*. Obtenido de Enel Green

Power: <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-hidroelectrica>

Enel Green Power. (18 de Enero de 2021). *Wave Energy – Sistemas de generación de energía a*

partir de las olas del mar. Obtenido de Enel Green Power:

<https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-marina/energia-undimotriz>

Energética Futura. (25 de Abril de 2011). *Tecnología LED en iluminación. Denición básica*.

Obtenido de Energética Futura: <https://energeticafutura.com/blog/tecnologia-led-en-iluminacion-definicion-basica/>

Enérgya VM. (5 de Diciembre de 2017). *¿Es la energía osmótica el futuro de la*

electricidadrenovable? Obtenido de Energyavm: [https://www.energyavm.es/la-energia-osmotica-futuro-la-electricidad-](https://www.energyavm.es/la-energia-osmotica-futuro-la-electricidad-renovable/#:~:text=Este%20consiste%20en%20aprovechar%20la,gracias%20a%20una%20membrana%20semipermeable.&text=Aunque%20a%20d%C3%ADa%20de%20hoy,q)

[renovable/#:~:text=Este%20consiste%20en%20aprovechar%20la,gracias%20a%20una%20membrana%20semipermeable.&text=Aunque%20a%20d%C3%ADa%20de%20hoy,q](https://www.energyavm.es/la-energia-osmotica-futuro-la-electricidad-renovable/#:~:text=Este%20consiste%20en%20aprovechar%20la,gracias%20a%20una%20membrana%20semipermeable.&text=Aunque%20a%20d%C3%ADa%20de%20hoy,q)
ue%20se%20consumir%C3%A1%20en%20Holanda.

Enérgya VM. (22 de Enero de 2020). *¿Cómo funciona la energía solar híbrida?* Obtenido de Energyavm: <https://www.energyavm.es/como-funciona-la-energia-solar-hibrida/>

Estructuras Bioclimáticas Avanzadas S.L. (18 de Enero de 2021). *¿Qué es la biomasa? Centrales de energía de la biomasa.* Obtenido de EBA: <https://ebasl.es/producir-energia-con-la-biomasa/>

Fernández, M. (17 de Abril de 2015). *Barcelona implanta el primer sistema de alumbrado público autosuficiente.* Obtenido de Interempresas: https://www.interempresas.net/Smart_Cities/Articulos/135994-Barcelona-implanta-el-primer-sistema-de-alumbrado-publico-autosuficiente.html

Fundación Endesa. (2019). *Centrales de biomasa y sus tipos.* Obtenido de fundacionendesa: <https://www.fundacionendesa.org/es/centrales-renovables/a201908-central-de-biomasa>

Gómez, P. (16 de Enero de 2021). *Energética y Geometría Solar.* Obtenido de El Blog del Instalador: <https://elblogdelinstalador.com/energetica-y-geometria-solar/>

Google. (14 de Junio de 2021). *Universidad Católica Andrés Bello.* Obtenido de Google Maps: <http://www.google.com/maps/.place/Universidad+Cat%C3%B3lica+Andr%C3%A9s+Bello/@10.4642472,-66.9780009,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x8c2a5ff4fca985bf:0x43cb2d8100a63708!8m2!3d10.4642419!4d-66.9758122?hl=es>

Greenteach. (15 de Agosto de 2020). *Energía Geotérmica y Geotermia.* Obtenido de Greenteach: <https://www.greenteach.es/energia-geotermica/>

HelioEsfera. (2019). *Instalacion fotovoltaica aislada*. Obtenido de HelioEsfera:
<https://www.helioesfera.com/instalacion-fotovoltaica-aislada/>

HelioEsfera. (12 de Diciembre de 2019). *TIPOS DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS Y SUS PANELES*. Obtenido de HelioEsfera: <https://www.helioesfera.com/tipos-de-celulas-fotovoltaicas-y-sus-paneles/>

HiSoUR. (2019). *CELDA SOLAR DE PELÍCULA DELGADA*. Obtenido de HiSoUR:
<https://www.hisour.com/es/thin-film-solar-cell-39519/#:~:text=Una%20c%C3%A9lula%20solar%20de%20pel%C3%ADcula,como%20vidrio%2C%20pl%C3%A1stico%20o%20metal>

Iberdrola. (5 de Enero de 2021). *¿Sabes cómo funcionan los parques eólicos marinos?* Obtenido de IBERDROLA: <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/como-funciona-la-energia-eolica-marina>

IMAGO. (2015). *Energía Solar Fotovoltaica*. Obtenido de IMAGO:
http://www.imagosoluciones.com/Servicios/Energia_solar_fotovoltaica.html

IRENA . (2 de Abril de 2019). *Renovables representan hoy una tercera parte de la capacidad energética global*. Obtenido de IRENA Agencia Internacional de Energías Renovables:
https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Press-Release/2019/Apr/IRENA_Capacity-Growth-2018_Press-Release-Spanish.pdf?la=en&hash=E47EA2EFB7D1049EECDCC402F4FD346EDADB00DA

Krannich Solar. (18 de Enero de 2021). *Fotovoltaica aislada*. Obtenido de Krannich Solar:
<https://es.krannich-solar.com/es/autoconsumo/fotovoltaica-aislada.html>

López, E. (2020 de Marzo de 2020). *La demanda eléctrica cayó 41% pero no hay capacidad para cubrirla*. Obtenido de Efecto Cocuyo: <https://efectococuyo.com/la-humanidad/la-demanda-electrica-cayo-41-pero-no-hay-capacidad-para-cubrirla/>

Méndez, J., & Cuervo, R. (2011). *Energía Solar Fotovoltaica*. España : FC EDITORIAL.

Naciones Unidas. (23 de Septiembre de 2019). *Cambio climático*. Obtenido de Naciones Unidas: <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.html>

National Geographic. (6 de Marzo de 2017). *Un alumbrado público que funciona al 100% con energía eólica y solar*. Obtenido de National Geographic España: https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/un-alumbrado-publico-que-funciona-al-100-con-energia-eolica-y-solar_9054

Nexe Energetic. (25 de Julio de 2019). *¿ Que son las energías renovables? Ventajas y Desventajas*. Obtenido de Nexe Energetic: <https://www.nexenergetic.com/que-son-las-energias-renovables/>

Noticias ONU. (10 de Junio de 2020). *El apogeo de las energías renovables, el lado*. Obtenido de Noticias ONU: <https://news.un.org/es/story/2020/06/1475832>

Obralux. (20 de Enero de 2021). *Productos*. Obtenido de Obralux: www.obralux.com

Ortiz, H. (24 de Junio de 2016). *La célula fotovoltaica*. Obtenido de EcoSolar: <https://www.ecosolaresp.com/la-celula-fotovoltaica/>

OVACEN. (18 de Enero de 2021). *Energía marina: Qué es, tipos, ventajas y desventajas*. Obtenido de OVACEN: <https://ovacen.com/energia-marina/>

Planas, O. (18 de Diciembre de 2009). *Energía solar fotovoltaica*. Obtenido de Solar-Energía: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica>

Planas, O. (13 de Julio de 2011). *Energía Solar Térmica*. Obtenido de Solar-Energía: <https://solar-energia.net/energia-solar-termica>

Planas, O. (13 de Mayo de 2015). *Efecto fotovoltaico*. Obtenido de Solar-Energía: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/efecto-fotovoltaico>

Planas, O. (9 de Abril de 2015). *Energía solar pasiva*. Obtenido de Energía-Solar: <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar/energia-solar-pasiva>

Planas, O. (25 de Febrero de 2016). *¿Cuál es la composición de un panel fotovoltaico?* Obtenido de Solar-Energía: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico/estructura-de-un-panel-fotovoltaico>

Planas, O. (18 de Febrero de 2016). *¿Qué es una célula fotovoltaica?* Obtenido de Solar-Energía: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico/celula-fotovoltaica>

Planas, O. (20 de Abril de 2017). *Energía Solar Activa*. Obtenido de Energía-Solar: <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar/energia-solar-activa>

Planas, O. (4 de Mayo de 2020). *Radiación Solar*. Obtenido de Solar-Energía: <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar/radiacion-solar>

Planas, O. (18 de Enero de 2021). *Energía Solar*. Obtenido de Solar-Energía: <https://solar-energia.net/>

- PNUMA. (2015). *OBJETIVO 7: Energía limpia y asequible*. Obtenido de PNUMA - Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente: <https://www.unenvironment.org/explore-topics/sustainable-development-goals/why-do-sustainable-development-goals-matter/goal-7>
- Portillo, G. (18 de Enero de 2021). *Características, funcionamiento y requisitos de las farolas solares*. Obtenido de Renovables Verdes: <https://www.renovablesverdes.com/farolas-solares/>
- Posso, F., González, J., Guerra, F., & Gómez, H. (2014). Estimación del potencial de energía solar en Venezuela utilizando sistemas de información geográfica. *Revista Geográfica Venezolana*, 55. Obtenido de <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/38968>
- PVGIS. (15 de Mayo de 2021). *Datos mensuales de irradiación*. Obtenido de Photovoltaic Geographical Information System: <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>
- Robles, C., & Rodríguez, O. (30 de Abril de 2018). Un panorama de las energías renovables en el Mundo, Latinoamérica y Colombia. *Revsta ESPACIOS*, 39(34).
- Rodriguez, E. (s.f.). *Paneles Solares*. Obtenido de Área Tecnoñogía: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/paneles-solares.html>
- Ruíz, G. (9 de Agosto de 2020). *Energías Renovables, Ventajas y Desventajas*. Obtenido de ERENOVABLE.COM: <https://erenovable.com/energias-renovables-ventajas-y-desventajas/>
- Serrano, P. (12 de Mayo de 2015). *Energía solar y sus beneficios ¿Qué es el efecto fotovoltaico*. Obtenido de Certificados Energéticos: <https://www.certificadosenergeticos.com/energia->

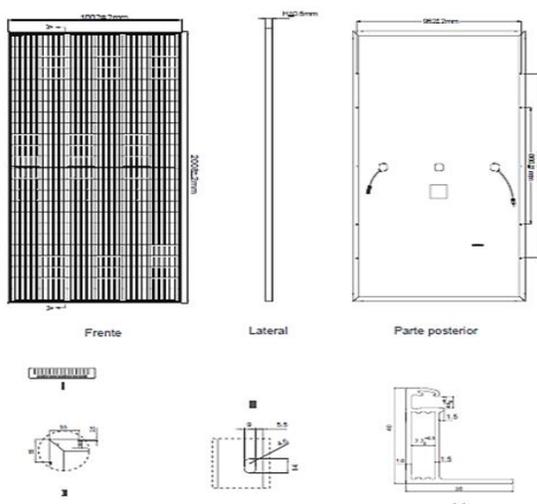
Uherek, E. (2013). *El Sol como fuente de energía*. Obtenido de Accent-Network:
http://klimat.czn.uj.edu.pl/enid/0,59a8eb73686f7774797065092d097072696e74/Cambio_clim_tico_-_clases_ss/ss_Energ_a_del_sol_6fg.html

Westinghouse. (1982). *Manual del alumbrado*. Madrid: Dossat, S.A.

Zaá, J. (26 de Junio de 2016). *#ESPECIAL Contaminación y peligro como alternativa ante crisis eléctrica*. Obtenido de El Impulso:
<https://www.elimpulso.com/2016/06/26/contaminacion-peligro-alternativa-ante-crisis-electrica/>

ANEXO 1

Planos de ingeniería

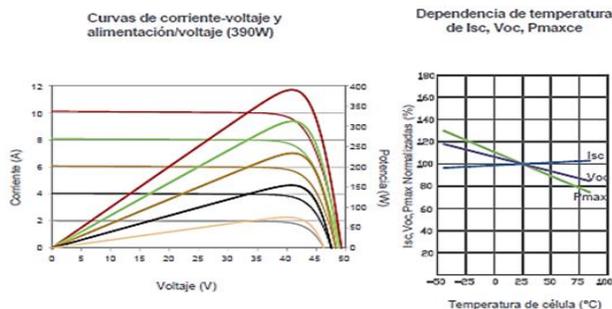


Configuración del embalaje

(Dos pallets = Una pila)

26 piezas/pallet , 52 piezas/pila, 572 piezas/contenedor de HQ de 40'

Rendimiento eléctrico y dependencia de temperatura



Características mecánicas

Tipo de celda	PERC Monocristalina 158.75×158.75mm
Cant. de celdas	144 (6×24)
Dimensions	2008×1002×40mm (79.06×39.45×1.57 inch)
Peso	22.5 kg (49.6 lbs)
Vidrio frontal	3,2 mm, capa antirreflectante, transmisión alta, bajo contenido en hierro, vidrio templado
Estructura	Aleación de aluminio anodizado
Caja de conexiones	Clasificación IP67
Cables de salida	TUV 1x4.0mm ² , (+): 290 mm, (-): 145 mm o Longitud personalizada

ESPECIFICACIONES

Tipo de módulo	JKM380M-72H-V		JKM385M-72H-V		JKM390M-72H-V		JKM395M-72H-V		JKM400M-72H-V	
	STC	NOCT								
Alimentación máxima (Pmax)	380Wp	286Wp	385Wp	290Wp	390Wp	294Wp	395Wp	298Wp	400Wp	302Wp
Voltaje de alimentación máximo (Vmp)	40.5V	38.6V	40.8V	38.8V	41.1V	39.1V	41.4V	39.3V	41.7V	39.6V
Voltaje de alimentación máximo (Imp)	9.39A	7.42A	9.44A	7.48A	9.49A	7.54A	9.55A	7.60A	9.60A	7.66A
Voltaje con circuito abierto (Voc)	48.9V	47.5V	49.1V	47.7V	49.3V	48.0V	49.5V	48.2V	49.8V	48.5V
Corriente de cortocircuito (Isc)	9.75A	7.88A	9.92A	7.95A	10.12A	8.02A	10.23A	8.09A	10.36A	8.16A
STC de eficiencia del módulo (%)	18.89%		19.14%		19.38%		19.63%		19.88%	
Temperatura de funcionamiento (°C)	-40°C~+85°C									
Voltaje máximo del sistema	1500VDC (IEC)									
Clasificación de fusibles serie máxima	20A									
Tolerancia de alimentación	0~+3%									
Coefficientes de temperatura de Pmax	-0.36%/°C									
Coefficientes de temperatura de Voc	-0.28%/°C									
Coefficientes de temperatura de Isc	0.048%/°C									
Temperatura nominal de funcionamiento de la celda (NOCT)	45±2°C									

ANEXO 2

Especificaciones

MODELO		PC18-6015F		PC18-8015F	
Voltaje nominal sistema baterías		12V/24V/48VDC (Auto detección); 36V(setting)			
CONTROLADOR ENTRADA	Voltaje de baterías	12V	24V	36V	48V
	Voltaje máximo entrada solar	100V	145V		
	Rango del MPPT	15~95V	30~130V	45~130V	60~130V
	Potencia máxima entrada paneles (12V)	938W		1250W	
	Potencia máxima entrada paneles (24V)	1875W		2500W	
	Potencia máxima entrada paneles (36V)	2813W		3750W	
	Potencia máxima entrada paneles (48V)	3750W		5000W	
BATERÍA	Configuraciones de carga	Estado de absorción		Estado de flotación	
	Flooded Battery	14.2V/28.4V/42.6V/56.8V		13.7V/27.4V/41.1V/54.8V	
	AGM/Gel/LEAD battery (predeterm.)	14.4V/28.8V/43.2V/57.6V		13.7V/27.4V/41.1V/54.8V	
	Voltaje de sobre-carga	15.5V/30.0V/45.0V/60.0V			
	Voltaje recuperacion de sobre-carga	14.5V/29.5V/44.5V/59.0V			
	Voltaje bajo batería defectuosa	10.0V/17.0V/25.5V/34.0V			
	Coefficiente compensación temperatura	-3mv/°C /celda (25°C vef)			
MPPT	Pico de eficiencia de conversión	98% (MPPT Eficiencia 99%)			
	Máxima corriente de carga	60 amps constantes @ 40°C ambiente		80 amps constantes @ 40°C ambiente	
ESPECIFICACIONES GENERALES	Modo de ventilación	ventilacion forzada			
DISPLAY & PROTECCIÓN	Protecciones	Desconexión voltaje FV excesivo Reconexión voltaje FV excesivo Desconexión voltaje batería excesivo Reconexión voltaje batería excesivo Desconexión temperatura excesiva Reconexión temperatura excesiva			
ESPECIFICACIONES FÍSICAS	Montaje	En pared			
	Dimensiones (W*H* D)	152*100*294mm			
	Peso (Kg)	3Kg/pcs			
	Dimensiones paquete (W*H* D)	612*308.2*235.6mm			
	Peso total (Kg) (por embalaje)	17.4Kg		19Kg (per Carton)	
OTROS	Lugar de instalación	Interior			
	Rango temperatura de funcionamiento	-25~55°C			
	Humedad ambiente	0~90% humedad relativa(sin condensación)			
	Altitud	≤3000m			
	Contenedor(20GP/40GP/40HQ)	3000pcs / 6000pcs / 7200pcs			

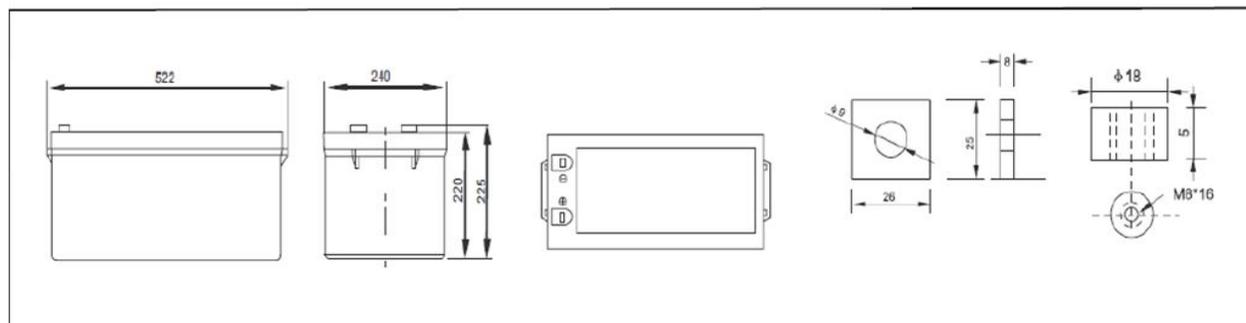
* Product specifications are subject to change without further notice.

ANEXO 3

SPECIFICATIONS

Model	Nominal Voltage	12V		
	Rated Capacity (10Hr rate)	250Ah		
Dimensions	Length	Width	Height	Total Height
	522mm	240mm	220mm	244mm
Weight	Approx. 60 kgs (+/- 3%)			
Capacity @25°C (77°F)	100Hour (2.5A,10.8V)	10 Hour (20A,10.8V)	5 Hour (34A,10.5V)	1Hour (110A,9.6V)
	250Ah	200Ah	170Ah	110Ah
Internal Resistance	Fully charged at 25°C, approx. 2.5mΩ			
Max. Discharge current	2000A (5 Sec.)			
Capacity Affected by Temp. (20Hr)	40°C (104°F)	25°C (77°F)	0°C (32°F)	-15°C (5°F)
	112%	100%	80%	68%
Self Discharge Rate @25°C (77°F)	After 3 months Storage	After 6 months Storage	After 12 months Storage	
	91%	82%	64%	
Charge Method	Cycle Use		Float Charging	
	14.1-14.4V (Initial current less than 60A) @25°C (77°F)		13.5-13.8V@25°C (77°F)	

DIMENSIONS & TERMINALS



PERFORMANCE CHARACTERISTICS

		Constant Current(Amp) and Constant Power(Watt) Discharge Table at 25°C(72°F)											
		10min	30min	1h	2h	3h	4h	5h	8h	10h	20h	50h	100h
9.60V	A	400.0	220.0	120.0	70.0	52.0	42.0	35.6	23.2	22.0	11.4	4.76	2.62
	W	4240	2343	1284	756	567	462	391.6	257.1	244.2	127.7	53.3	29.3
10.20V	A	380.0	218.0	112.8	66.8	51.0	41.0	34.8	22.8	20.7	11.2	4.60	2.56
	W	4180	2409	1252	748	576	465	395	258	235	127	52.2	29.1
10.50V	A	340.0	204.0	110.0	65.2	50.0	40.0	34.0	22.5	20.4	11.1	4.54	2.52
	W	3808	2295	1243	743	573	460	391	259	235	127	52.2	29.0
10.80V	A	320.0	188.0	106.0	63.6	49.0	39.0	30.4	21.9	20.0	10.9	4.5	2.5
	W	3632	2143	1214	735	568	454	354	255	233	127	52.2	29.1
11.10V	A	300.0	168.0	100.0	62.0	47.0	38.0	29.0	21.3	19.5	10.8	4.40	2.46
	W	3450	1940	1160	725	552	448	342	252	230	127	51.9	29.0

ANEXO 4

Inverter RP Series

Model	RP 8K		RP 10K		RP 12K	
Rated Power	8KVA/8KW		10KVA/10KW		12KVA/12KW	
INPUT						
Voltage	220/230/240Vac					
Selectable Voltage Range	Wide Range: 170vac–265vac (for home appliances) Narrow Range: 195vac–265vac (for Personal computer)					
Frequency Range	40–70HZ (50Hz/60Hz)					
OUTPUT						
AC Voltage Regulation (Batt. Mode)	220/230/240Vac(± 10V)					
Surge Power	24KVA		30KVA		36KVA	
Efficiency(Peak)	90%					
Transfer Time	<20ms					
Waveform	Pure sine wave					
BATTERY						
Battery Voltage	48V	96VDC	48V	96VDC	48V	96VDC
Charge Current	70A	35A	75A	40A	75A	50A
Fast charge voltage	57.2VDC	114.4VDC	57.2VDC	114.4VDC	57.2VDC	114.4VDC
Float charge voltage	54.8VDC	109.6VDC	54.8VDC	109.6VDC	54.8VDC	109.6VDC
Over voltage protect	66.0VDC	132.0VDC	66.0VDC	132.0VDC	66.0VDC	132.0VDC
Battery low voltage alarm	42.0VDC	84.0VDC	42.0VDC	84.0VDC	42.0VDC	84.0VDC
Battery low voltage shutdown	40.0VDC	80.0VDC	40.0VDC	80.0VDC	40.0VDC	80.0VDC
Protection	Over charging, over temp, over battery voltage, over load, short–circuit					
Operating environment temperature	55 °C					
Cooling	Intelligent Fan					
Display	Color LCD					
Specification Setting	By LCD or Position Machine: Charging Current、 Battery Type、 Input Voltage、 Output Frequency、 Wide and Narrow range of AC input voltage、 Power–saver Model、 AC Priority or Battery Priority;					
PHYSICAL						
Dimension,DxWxH(mm)	584x425x180					
Net Weight (kgs)	58.7/59		67/66,5		71.8/72	
ENVIRONMENT						
Humidity	5–95% Relative Humidity (Non–condensing)					
Operating Temperature	–10°C to 50°C					
Storage Temperature	–15°C to 60°C					