

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.



Facultad De Ingeniería En Ciencias Aplicadas.

Carrera De Ingeniería En Mantenimiento Eléctrico.

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA ECONÓMICA PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA EN EL
EDIFICIO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

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

AUTOR:

Trejo Viteri Rony Alexander

DIRECTOR:

PhD. Gerardo Collaguazo

Ibarra – Ecuador

2020 – 2021



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0401703913		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Trejo Viteri Rony Alexander		
DIRECCIÓN:	Imbabura, Ibarra, El Olivo		
EMAIL:	ratrejev@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	06293339	TELÉFONO MÓVIL:	0958635529


DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	"ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA EN EL EDIFICIO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS"
AUTOR (ES):	Trejo Viteri Rony Alexander
FECHA: DD/MM/AAAA	26/05/2021
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO
ASESOR /DIRECTOR:	PhD. Gerardo Collaguazo

2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 14 días del mes de junio de 2021

EL AUTOR:


(Firma).....
Nombre: Rony Alexander Trejo Viteri
C.C.:040170391-3



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

Ing. Gerardo Collaguazo PhD.

CERTIFICA

Que después de haber examinado el presente trabajo de investigación elaborado por el señor estudiante: Trejo Viteri Rony Alexander certifico que ha cumplido con las normas establecidas en la elaboración del trabajo de investigación titulado: **“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA EN EL EDIFICIO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS”** para la obtención del título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico.



Firmado electrónicamente por:
GERARDO ISAIAS
COLLAGUAZO
GALEANO

PhD. Gerardo Collaguazo

DIRECTOR DE TESIS

DEDICATORIAS

“Un poco más de persistencia, un poco más de esfuerzo, y lo que parecía irremediablemente un fracaso puede convertirse en un éxito glorioso”. **Elbert Hubbard.**

Este trabajo se lo dedico a Dios por iluminar mi mente, por levantarme en mi continuo tropiezo, y por permitirme cumplir este anhelado sueño.

A mis padres Edwin Humberto Robles y Ana Lucia Viteri, quienes, con su ejemplo, esfuerzo y apoyo incondicional, constituyeron el pilar más fundamental en cada etapa de mi formación profesional. Su bendición y amor infinito me han permitido culminar con éxito una meta más.

A mis hermanos Hugo, Andrés y Milena, que me motivaron constantemente a seguir adelante en los momentos difíciles y confiaron en mí.

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por haberme bendecido y acompañado durante este largo camino, por darme sabiduría en cada decisión importante de mi vida, por brindarme una vida llena de experiencias, pero sobre todo de muchas alegrías.

A mis padres por brindarme su amor y apoyo incondicional, por estar conmigo en cada paso de mi vida, por dar me la oportunidad de tener una buena educación y sobre todo por cada día confiar en mí.

A mi tutor Dr. Gerardo Collaguazo por el apoyo brindado y por todas las enseñanzas para la culminación de este proyecto.

A la universidad Técnica del Norte, a la carrera de Electricidad, a los docentes por haberme brindado todas sus enseñanzas y conocimientos para desarrollarme profesionalmente.

A mis amigos y a todas las personas quienes creyeron en mí y me apoyaron constantemente.

TABLA DE CONTENIDO

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	III
CONSTANCIAS	IV
ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR	V
DEDICATORIAS	VI
AGRADECIMIENTO	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
RESUMEN	XIV
ABSTRACT	XV
INTRODUCCIÓN	XVI
A.1. Contextualización	XVI
A.2. Planteamiento del problema.....	XVIII
A.3. Objetivo general.....	XVIII
A.4. Objetivos específicos.....	XVIII
A.5. Justificación	XIX
A.6. Alcance del trabajo	XIX
CAPÍTULO 1	1
Marco Teórico	1
1.1 Edificaciones sostenibles.....	1
1.2 Edificaciones verdes	1
1.3 Campus universitarios sustentables	2
1.4 Energías renovables	3
1.5 Energía solar	4
1.6 Sistemas fotovoltaicos	5
1.6.1 Tipos de sistemas fotovoltaicas.....	7
1.6.2 Descripción de componentes de un sistema solar fotovoltaico	7
1.7 Tecnologías de las células fotovoltaicas	10
1.7.1 Células solares de silicio cristalino (SI).....	11
1.7.2 Células de Silicio Monocristalino	11
1.7.3 Células de Silicio Policristalino	11
1.7.4 Células solares de película delgada.....	11
1.7.5 Células amorfas	12
1.7.6 Células solares de telurio de cadmio de película delgada (CdTe)	12
1.7.7 Células solares (CIGS)	12

1.7.8	Comparación entre tecnologías fotovoltaicas	13
1.8	Determinación del potencial de energía fotovoltaica en edificios.....	14
1.9	Parámetros que influyen en el análisis solar	15
1.10	Ángulos solares	15
1.11	Tipos de radiación solar que inciden sobre el módulo fotovoltaico.....	16
1.12	Características y elección del módulo fotovoltaico.....	17
1.13	Adquisición y análisis de datos de radiación solar	17
1.13.1	Tratamiento y análisis estadístico de los datos.....	18
1.13.2	Corrección y validación de datos.....	18
CAPÍTULO 2.....		20
Diseño de un generador fotovoltaico.....		20
2.1	Metodología para el diseño del generador fotovoltaico	20
2.1.1	Determinación del potencial solar fotovoltaico.....	22
2.1.2	Determinación de la superficie neta para la instalación de los paneles solares 22	
2.1.3	Determinación de la energía irradiada sobre la superficie total neta	22
2.1.4	Determinación del potencial de producción de energía fotovoltaica	22
2.1.5	Determinación del consumo energético	24
2.1.6	Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico autónomo (SFVA)	24
2.1.7	Descripción del lugar de estudio	28
2.1.8	Datos históricos de radiación solar	29
2.2	Determinación del potencial solar fotovoltaico	29
2.3	Determinación de la superficie total neta para la instalación de los módulos fotovoltaicos	33
2.4	Análisis del horario solar para la determinación del potencial de producción de energía fotovoltaica.....	35
2.5	Determinación de la energía irradiada sobre la superficie total neta.....	37
2.6	Determinación de la producción de energía fotovoltaica	38
2.7	Diseño del generador fotovoltaico	39
2.8	Estimación del consumo energético del sistema de iluminación.....	41
2.9	Dimensionamiento del sistema fotovoltaico autónomo (SFVA).....	43
2.9.1	Dimensionamiento de los paneles solares fotovoltaicos	43
2.9.2	Dimensionamiento del acumulador	43
2.9.3	Dimensionamiento del regulador de carga solar.....	44
2.9.4	Dimensionamiento del inversor	44
2.9.5	Dimensionamiento del cableado de corriente continua y alterna.....	44

2.9.6	Cálculo de las protecciones en la red de continua y alterna	45
2.9.7	Dimensionamiento de la puesta a tierra.....	46
2.9.8	Equipos seleccionados del sistema fotovoltaico autónomo.....	47
CAPÍTULO 3.....		48
Análisis económico		48
3.1	Parámetros para evaluar la viabilidad económica del proyecto.....	48
3.1.1	Costo de la inversión inicial	48
3.1.2	Costos por reemplazo.....	49
3.1.3	Costo nivelado de energía (LCOE)	49
3.1.4	Tasa de descuento	50
3.1.5	Costos anuales por operación y mantenimiento	50
3.1.6	Flujos de caja	51
3.1.7	Valor actual neto (VAN)	51
3.1.8	Tasa interna de retorno (TIR)	51
3.1.9	Periodo de recuperación de la inversión inicial.....	52
3.2	Análisis económico	52
3.2.1	Determinación del costo total del sistema fotovoltaico autónomo (SFA)	52
3.2.2	Costos de sustitución.....	55
3.2.3	Cálculo del costo nivelado de energía (LCOE)	55
3.2.4	Cálculo del flujo de caja.....	58
3.2.5	Cálculo de los indicadores financieros	60
3.2.6	Cálculo del periodo de recuperación de la inversión	61
3.2.7	Resultados del análisis económico	61
Conclusiones		63
Recomendaciones		64
Referencias.....		65
Anexos		73
Anexo A. Análisis de la trayectoria solar con respecto a la ubicación geográfica del edificio FICA.....		73
Anexo B. Cálculos de la sección del conductor y porcentaje de caída de voltaje.....		75
Anexo B2: Porcentaje de caída de tensión.....		76
Anexo B3: Selección del conductor		77
Anexo C. Equipos seleccionados para la implementación del sistema fotovoltaico autónomo (SFVA).....		78
Anexo C1. Selección de los paneles solares.....		78
Anexo C2. Selección del regulador de carga solar		79

Anexo C3. Selección de la batería.....	80
Anexo C4. Selección del inversor	81
Anexo D. Cotizaciones.....	82
Anexo D1. Cotización Panel Solar Flexible 120 W.....	82
Anexo D2. Cotización inversor 4000 W, 24 V.....	82
Anexo D3. Cotización Regulador de carga solar 60 A MPPT, 24 V	83
Anexo D5. Cotización transporte marítimo	84
Anexo E. Análisis económico.....	85
Anexo E1. Cálculo del costo nivelado de energía (LCOE) con tasa de descuento del 7%	85
Anexo E2. Cálculo del costo nivelado de energía (LCOE) con tasa de descuento del 8,68%.....	86
Anexo E3. Cálculo del VAN y el TIR sin considerar costos por reemplazos.....	87
Anexo E4. Cálculo del VAN y el TIR considerando costos por reemplazos.....	88
Anexo E5. Cálculo del VAN y el TIR considerando costos por reemplazos.....	89
Anexo E6. Cálculo del periodo de recuperación de la inversión inicial.....	90
Anexo F. Sistema conectado a la red (SFVCR).....	91
Anexo F1. Selección del inversor conectado a la red	91
Anexo F2. Costos de importación del panel solar y del inversor conectado a la red.....	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Célula fotovoltaica típica.....	5
Fig. 2. Sistema fotovoltaico típico.....	6
Fig. 3. Comportamiento del controlador de carga en función de la tensión de la batería.	9
Fig. 4. Tipos de radiación que inciden sobre el módulo fotovoltaico.....	16
Fig. 5. Flujograma de la metodología aplicada.	21
Fig. 6: Porcentaje de pérdidas de energía con respecto a la orientación e inclinación.	23
Fig. 7. Descripción de lugar de estudio.....	28
Fig. 8: Series de tiempo irradiancia solar sensor HOBO desde febrero a julio del 2019.....	29
Fig. 9. Radiación solar global media.	30
Fig. 10: Días con menor y mayor irradiancia en Wh/m ²	31
Fig. 11: Radiación solar obtenida a partir del Atlas Solar del Ecuador.	32
Fig. 12. Área del ventanal del edificio FICA.....	33
Fig. 13. Dimensiones del panel solar.	34
Fig. 14: Carta solar estereográfica con respecto a la latitud del edificio FICA.....	36
Fig. 15. Configuración de los paneles solares fotovoltaicos de la fachada oeste de la Facultad.	40
Fig. 16: Configuración de los paneles solares fotovoltaicos de la fachada este y norte de la Facultad.	40
Fig. 17. Cálculo del costo nivelado de la energía (LCOE) para diferentes tasas de descuento	56
Fig. 18: Costo nivelado de energía (LCOE) promedio para sistema fotovoltaicos residenciales por país respectivamente para el 2019.....	57
Fig. 19: Análisis del flujo de caja para el escenario uno.....	59
Fig. 20: Análisis del flujo de caja para el escenario dos	59
Fig. 21: Periodo de recuperación de la inversión total.....	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Criterios de evaluación de un campus universitario sostenible.....	2
Tabla 2. Ventajas y desventajas de las energías renovables.....	3
Tabla 3. Ventajas y desventajas de los sistemas fotovoltaicos.....	6
Tabla 4. Características de la batería fotovoltaica.....	9
Tabla 5. Clasificación de las tecnologías de células solares.....	10
Tabla 6. Comparación entre las tecnologías fotovoltaicas.....	13
Tabla 7. Parámetros que influyen en el rendimiento del módulo fotovoltaico.....	15
Tabla 8. Ángulos solares.....	16
Tabla 9. Parámetros de la curva característicos de un panel solar.....	17
Tabla 10. Partes de una estación meteorológica.....	18
Tabla 11. Caída de tensión máxima admisible.....	27
Tabla 12. Datos geográficos de la Universidad Técnica del Norte.....	28
Tabla 13. Datos promedios obtenidos a partir de las series de tiempo.....	30
Tabla 14. Comparación de los datos de radiación obtenidos por el sensor de radiación con respecto al Atlas Solar del Ecuador.....	32
Tabla 15. Cálculo de la superficie total para cada fachada del edificio FICA.....	35
Tabla 16. Determinación del horario solar con respecto a cada fachada de la facultad.....	37
Tabla 17. Valores de irradiación global acumulada del mes de abril.....	37
Tabla 18. Estimación del consumo de energía de los laboratorios del primer piso del edificio FICA.....	41
Tabla 19. Caídas de tensión de los conductores por cada tramo.....	45
Tabla 20. Componentes seleccionados para el sistema fotovoltaico autónomo.....	47
Tabla 21. Costo inicial del sistema fotovoltaico.....	53
Tabla 22. Determinación del costo FOB.....	54
Tabla 23. Costos de sustitución.....	55
Tabla 24. Parámetros iniciales para determinar la viabilidad económica del sistema.....	56
Tabla 25. Cálculo del VAN Y de la TIR.....	60

RESUMEN

El desarrollo de la energía solar fotovoltaica para la generación de energía eléctrica en el mundo es cada vez mayor, debido a la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero producidos por CO₂. En la Universidad Técnica del Norte no se han efectuado las medidas suficientes para mejorar su rendimiento ambiental, permitiendo de esta forma seguir dependiendo de sistemas convencionales que no contribuyen a reducir la huella de carbono. El presente trabajo realiza un estudio de factibilidad técnica-económica para la implementación de un sistema de generación fotovoltaica en el edificio de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas (FICA) como una solución ideal para el impulso de un campus sustentable. La metodología utilizada se basa en analizar y cuantificar el recurso solar, así como en el análisis de información que permite establecer parámetros técnicos y económicos encaminados a determinar la viabilidad del proyecto. Los resultados muestran que la tecnología monocristalina del tipo flexible es la mejor opción para la aplicación requerida. Además, se demuestra que el potencial solar que inciden sobre el edificio FICA es bastante alto y aprovechable para la implementación de sistemas fotovoltaicos, evidenciando y validando que el potencial fotovoltaico en la zona de estudio varía de 4.2 a 5.5 kWh/m². Dentro del resultado del análisis técnico-económico se muestra que la ejecución de un sistema fotovoltaico autónomo para satisfacer la demanda del sistema de iluminación de las aulas de la Facultad es viable económicamente debido a que el valor presente neto (VAN) es positivo y la tasa interna de retorno (TIR) es mayor que la tasa referencial. Además, se evidencia que los costos nivelados de energía 0.37 USD/kWh y 0.42 USD/kWh, brindan un punto de equilibrio para el proyecto. Sin embargo, son precios altos en comparación a las tarifas internacionales, debido a los altos costos por importación de los productos.

Palabras claves: Paneles solares, sistemas fotovoltaicos autónomos, tecnología monocristalina potencial fotovoltaico, dimensionamiento, indicadores financieros.

ABSTRACT

The development of photovoltaic solar energy for power generation in the world is growing because of the need to reduce emissions of greenhouse gases produced by CO₂. At “Técnica del Norte” university, they have not made sufficient steps to improve its environmental performance, thereby permitting continued reliance on conventional systems that do not contribute to reducing the carbon footprint. This investigation makes a study of technical and economic feasibility for the implementation of a photovoltaic generation system at the Faculty of Engineering in Applied Sciences (FICA) as an ideal solution for promoting sustainable campus. The methodology carried out is based on analyzing and quantifying the solar resource, as well as data analysis that allows for technical and economic parameters aimed at determining the feasibility of the project. The outcomes display that the monocrystalline flexible type technology is the best choice for the required application. Otherwise, it is shown that the solar potential that affects the FICA building is quite high and usable for the implementation of photovoltaic systems, evidencing and validating that the photovoltaic potential in the study area varies from 4.2 to 5.5 kWh / m². Regarding to the result of the technical-economic analysis, it is shown that the execution of an autonomous photovoltaic system to satisfy the demand of the lighting system of the Faculty's classrooms is economically feasible because the net present value (NPV) is positive and the rate internal return (IRR) is higher than the reference rate. Moreover, it is evident that the levelized energy costs (0.37 USD / kWh and 0.42 USD / kWh) provide a breakeven point for the project. However, they are high prices compared to international rates due to the high import costs of the products.

Keywords: Solar panels, autonomous photovoltaic systems, monocrystalline technology, photovoltaic potential, sizing, financial indicators.

INTRODUCCIÓN

A.1. Contextualización

El desarrollo de las energías renovables para la generación de energía eléctrica en el mundo es cada vez mayor, debido a la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero producidos por CO₂ y la dependencia energética de los sistemas convencionales (Umbarila Valencia, Alfonso Moreno, & Rivera Rodríguez, 2015). Con respecto, al uso de la energía solar fotovoltaica en el mundo, está va ganando terreno en la industria, debido a la necesidad de satisfacer la alta demanda de energía y como una buena forma de contribuir al crecimiento económico de los países (Kannan & Vakeesan, 2016). En este contexto, la energía solar fotovoltaica ha tenido un crecimiento potencial debido a que la capacidad instalada solar fotovoltaica ha pasado de 8.679 MW en el año 2007 a 385.674 MW al año 2017 (IRENA, Renewable Energy Statistics, 2019). China, es el país que lidera el uso de este recurso solar ya que representa más del 54 % de la capacidad instalada fotovoltaica en todo el mundo, superando a Alemania desde el 2015 y entra en uno de los países que prevén incrementos a futuro en este tipo de energía (UNEP, 2018).

Por otra parte, la energía solar fotovoltaica en Latinoamérica no ha tenido un crecimiento tan acelerado como en los países desarrollados. Sin embargo, a partir del 2014 los proyectos de centrales fotovoltaicas empiezan abrirse campo en varios países de la región. Algunos países, como Chile, México, Brasil y Argentina son los principales países que cuentan con estos sistemas fotovoltaicos (Solano, 2015). Asimismo, países como Colombia, Bolivia, Guatemala y Costa Rica, entre otros, aprobaron nuevas leyes para incentivar más el uso de este tipo de energía para su autoabastecimiento mediante la aplicación de sistemas tarifarios denominados feed-in (Muñoz, Rojas, & Barreto, 2018).

En Ecuador, a pesar de tener una buena locación geográfica y un alto potencial de radiación solar sobre todo en zonas como Loja, Imbabura y Carchi, el desarrollo de la energía solar fotovoltaica crece paulatinamente. En el año 2017 el ARCONEL informó que la capacidad de este tipo de energía fue de 25.6 MW representando apenas un 0.34% de la capacidad total del país. Es importante mencionar que en el país el potencial solar para generar electricidad es de 312 GW que equivale aproximadamente a 283 millones de barriles equivalentes de petróleo por año (Muñoz, Rojas, & Barreto, 2018).

Por otra parte, la tecnología empleada en la energía solar fotovoltaica durante los últimos años ha tenido un incremento en su eficiencia, debido a los materiales empleados para su fabricación como los paneles solares de silicio monocristalinas y policristalinas que dominan en el mercado fotovoltaico más del 85% (Roy, 2017). Además, es necesario mencionar que existen 3 generaciones diferentes de materiales empleados para la fabricación de este tipo

de tecnología solar, que dependiendo del proceso de fabricación y la tecnología utilizada su rendimiento puede ir desde 8% al 20%. (de Montero, 2016). Sin embargo, con la aparición de la nanotecnología se están empleando materiales para alcanzar una mejora en la eficiencia y en la estabilidad de este tipo de tecnología (Sánchez de Armas & Gutiérrez Beltrán, 2015).

Por otro lado, la construcción y renovación de edificios sustentables están tomando cada vez mayor protagonismo en el mundo, debido a que reduce significativamente el consumo de energía de los edificios a una fracción de su valor actual, mediante la implementación de tecnologías limpias aplicadas a edificios. (Chwieduk, Chenari, Dias, & Gameiro, 2016). Por otra parte, es importante mencionar que los edificios representan el 30% de las emisiones de CO₂, por lo que el desarrollo de los edificios sustentables juega un papel vital para lograr una sostenibilidad que permita reducir las emisiones GEI y de esta forma generar una tendencia futura para su desarrollo (Shaikh, Mohd Nor, Nallagownden, Elamvazuthi, & Ibrahim, 2014).

Las universidades de todo el mundo están cada vez más comprometidas con el tema de la sostenibilidad, por lo que están ideando sus planes de acción de desarrollo sustentable, con el fin de promover e impulsar proyectos universitarios sustentables que permitan adoptar prácticas consientes del medio ambiente en distintas áreas de conocimiento (Zúñiga, Benavides, & Arnáez, 2015). Para que una universidad pueda ser considerada como campus universitario sustentable es necesario que mida su sustentabilidad mediante unos indicadores proporcionados por universidades especialistas en esta temática como la UI GreenMetric, que plantea una herramienta para la auto-evaluación de la sostenibilidad del campus de todas las universidades del mundo. Por lo tanto, la UI GreenMetric plantea 6 categorías con sus respectivos indicadores y ponderación que están sugeridas para su uso en el 2019, estos son: marco infraestructural (15%), Energía y cambio climático (21%), Residuos (18%), Agua (10%), Transporte (18%) y Educación (18%). Con respecto, a la energía y cambio climático es el indicador que tiene mayor puntuación y dentro de esta área se define otros indicadores como: uso de electrodomésticos eficientes en energía, implementación de edificios inteligentes y automatización, política de uso de energía de renovable, uso total de electricidad, programas de conservación de energía, políticas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la huella carbono (GreenMetric, 2019).

En el Ecuador se vienen implementando políticas nacionales con la finalidad de incentivar el uso de la energía solar fotovoltaica. Una de las políticas efectuadas fue la Regulación No CONELEC-004/11, en la cual se contempla la construcción de tres proyectos solares fotovoltaicos, con potencia cercana a 1 MW cada uno, en las zonas de Malchinguí, Paragachi y Escobar (CONELEC, 2012). Por otra parte, en el actual gobierno a través de la "REGULACIÓN No. ARCONEL-003/18", del artículo 3, en el apartado de Generación

fotovoltaica para autoabastecimiento de usuarios finales, indica que, “Los usuarios finales, previa calificación, podrán instalar sistemas de generación a partir de ERNC para su autoabastecimiento, y, asimismo, podrán vender eventuales excedentes a la distribuidora correspondiente. Para ello, deberán observar las condiciones técnicas y comerciales que se establezcan en la normativa que para el efecto emita la ARCONEL (ARCONEL, 2018)”

A.2. Planteamiento del problema

El sector energético está en búsqueda constante de nuevas fuentes limpias de energía, tanto para suplementar la producción de energía, como también para reducir la dependencia de los combustibles fósiles y su reemplazo gradual basado en métodos de desarrollo sostenible. Por otro lado, la seguridad energética es uno de los problemas que afectan de manera esencial las economías y políticas de seguridad de todos los países. En este contexto, las nuevas tecnologías de valoración de las energías renovables como la energía solar se representan como una opción real y necesaria, del punto de vista de la reducción de las emisiones GEI.

La Universidad Técnica del Norte sostiene un compromiso con el desarrollo de un campus sustentable, sin embargo, no se han efectuado las medidas suficientes para mejorar su rendimiento ambiental en los edificios e infraestructura de la universidad, permitiendo de esta forma seguir dependiendo de sistemas convencionales que no contribuyen a reducir la huella de carbono. Además, la atención de la Universidad para el uso de temas de energía y cambio climático es limitado y no cumple con todos los indicadores propuestos para medir su sostenibilidad del campus. En este sentido, la implementación de recursos renovables que contribuyan a un crecimiento sostenible; como la adopción de la energía solar fotovoltaica, se figura como una iniciativa necesaria.

A.3. Objetivo general

Realizar un estudio de factibilidad técnica económica para la implementación de un sistema de generación fotovoltaica en el edificio de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas (FICA), mediante la determinación del potencial de energía solar.

A.4. Objetivos específicos

- Realizar un estudio de las tecnologías de generación fotovoltaica y la determinación del potencial eléctrico.
- Diseñar un generador fotovoltaico para el edificio FICA.
- Realizar un análisis de factibilidad técnica y económica para la implementación de energía solar fotovoltaica en la FICA

A.5. Justificación

Dado los problemas que se prevén a futuro con el uso de energías eléctricas no renovables, es necesario mencionar la importancia que tiene la implementación de sistemas de generación fotovoltaica aplicados al campus universitario, debido a que estos sistemas de generación renovable permiten reducir significativamente el consumo energético, la dependencia de las energías no renovables y mejoran el desarrollo sostenible para la conservación del medio ambiente (Ballesteros-Ballesteros, 2016).

Debe señalarse, que desde años anteriores la implementación de energías renovables para la generación eléctrica que contribuyan a reducir la contaminación ambiental se ha convertido en un tema de interés a nivel nacional, según indica en el artículo 413 de La Constitución de la República del Ecuador (CONSTITUCIÓN, 2008) y el objetivo 3 del Plan Nacional de Desarrollo Toda una Vida (Senplades, 2017). En este sentido, el proyecto por desarrollarse tiene características que se ajustan con los objetivos planteados por las entidades rectoras del sector eléctrico, que se basan en la transformación de la matriz energética a través de energías renovables.

Como se precisó el presente proyecto buscará introducir al edificio FICA, tecnología de energía respetuosa con el medio ambiente, que permita acercarse cada vez más a la idea de edificios de energía sostenibles y de esta forma buscar un equilibrio entre las necesidades energéticas actuales y futuras del edificio. Esto además fomentará un desarrollo sustentable y una tendencia que pretende ser una base guía para proyectos de esta naturaleza en el campus universitario.

A.6. Alcance del trabajo

La investigación por desarrollarse constará de dos partes: el diseño de un generador fotovoltaico y el análisis económico.

La primera parte consistirá en diseñar un generador fotovoltaico para el edificio FICA. Esto se realizará con base a un proyecto de investigación anterior, en el cual, se recogieron distintas mediciones de radiación solar en el campus universitario entre los meses de febrero a julio del 2019 (Ormeño,2019). Por tanto, mediante el análisis y validación del potencial fotovoltaico, se determinará la cantidad de producción de energía fotovoltaica que se puede producir con el dimensionamiento de un generador fotovoltaico instalado en la envolvente de la Facultad.

En la segunda parte se realizará un análisis económico con base al dimensionamiento de un sistema fotovoltaico, para lo cual se utilizará indicadores financieros tales como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa interna de Retorno (TIR) para evaluar la factibilidad del proyecto.

CAPÍTULO 1

Marco Teórico

1.1 Edificaciones sostenibles

El desarrollo de edificios sostenibles es una de las soluciones más efectivas para abordar los problemas globales del cambio climático, ya que los edificios consumen muchos recursos y energía a lo largo de su ciclo de vida (Tang, Ng, & Skitmore, 2019). En las últimas décadas se han desarrollado muchos métodos de evaluación de edificios sostenibles que permiten calificar la sostenibilidad del edificio. Estos métodos, se basan en un conjunto de criterios que proporcionan indicadores de desempeño cuantitativos y cualitativos, económicos y sociales (Díaz López, Carpio, Martín Morales, & Zamorano, 2019). Los indicadores claves se desarrollan teniendo en cuenta los objetivos de desarrollo sostenible para evaluar el rendimiento del edificio nuevo y existente (Schuetze, Willkomm, & Roos, 2015).

Shukla, Sudhakara, Baredar, & Mamat (2018) considera los siguientes indicadores claves de rendimiento del edificio sostenible a través de los cuales se puede realizar el análisis completo del edificio: Integración urbana, integración ecológica, instalaciones de infraestructura, confort interior, calidad del aire interior, reducción de la contaminación exterior, sistemas de construcción, servicios de construcción, consumo de recursos y carga ambiental.

La sostenibilidad de un edificio y su evaluación es un campo de investigación amplio y complejo. Los distintos parámetros y enfoques involucrados hacen que sea difícil obtener un único punto de partida que pueda usarse para acceder a este tema. Por lo tanto, se necesitan revisiones exhaustivas que faciliten la integración de medidas que ofrezcan el desarrollo de edificaciones sostenibles (Díaz López, Carpio, Martín Morales, & Zamorano, 2019).

1.2 Edificaciones verdes

Los edificios verdes han sido adaptados con la finalidad de lograr un desarrollo sostenible en el entorno construido. Estos edificios son considerados como una estrategia positiva para reducir las emisiones de GEI y el consumo de energía (Tam, et al., 2017). Los edificios verdes han sido discutidos por crear beneficios económicos a largo plazo, incluidos los bajos costos de operación debido a los menores consumos de energía y agua, y a los bajos costos de mantenimiento como resultado de materiales más duraderos y tecnologías de calidad (Goh & Sun, 2016). Además de los beneficios económicos, los edificios verdes también pueden generar importantes beneficios ambientales y sociales, como la reducción de residuos, la mejora de la calidad del ambiente interior, la eficiencia del trabajo y la salud humana (Li, Lu, Kua, & Chang, 2019).

Por otra parte, aunque sus beneficios son altos los estudios han demostrado que los costos de construcción de los edificios verdes son todavía más altos que los edificios tradicionales y esto se percibe como una de las principales barreras para promover los edificios verdes. (Dwaikat & Ali, 2016). Por lo general, los costos adicionales iniciales de los edificios verdes se deben al uso de materiales de origen sostenible, sistemas mecánicos eficientes, diseño pasivo, modelado avanzado de energía y otras características de alto rendimiento (Li, Lu, Kua, & Chang, 2019).

1.3 Campus universitarios sustentables

GreenMetric (2019) relaciona a la defición de campus universitarios sostenibles con tres elementos fundamentales; impactos ambientales, económicos y sociales. El aspecto ambiental incluye el empleo de los recursos naturales, la gestión ambiental y la prevención de la contaminación. Mientras que el aspecto social incluye la educación, el compromiso con la comunidad y la participación social. Finalmente, el aspecto económico contempla la administración de recursos y costos.

Existen seis criterios principales que evalúan la sostenibilidad de un campus universitario, que consisten en el entorno y la infraestructura (EI), la energía y el cambio climático (EC), los residuos (WR), el transporte (WT) y la educación (ED). Estos criterios se describen en la Tabla 1 (GreenMetric, 2019).

TABLA 1
CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE UN CAMPUS UNIVERSITARIO SOSTENIBLE.

	Criterios	Descripción
1	Configuración e infraestructura (CI)	Proporciona información básica de la consideración de la universidad hacia el medio ambiente verde. Este indicador también muestra si el campus merece ser llamado Campus Verde.
2	Energía y cambio climático (CE)	Es el indicador más importante y ponderado. Dentro de este indicador, se espera que la universidad aumente el esfuerzo en eficiencia energética en su edificio y se preocupe más por la naturaleza y los recursos energéticos.
3	Residuos (WS)	Las actividades de tratamiento y reciclaje de residuos son factores fundamentales para desarrollar un entorno sostenible. Por lo tanto, dentro de este indicador se espera que la universidad se preocupe más por el tratamiento de desechos e implemente algunos programas.
4	Agua (AR)	Es otro indicador importante y su objetivo es que las universidades puedan disminuir el uso del agua, aumentar el programa de conservación y proteger el hábitat.
5	Transporte (TR)	Este indicador juega un papel importante en el nivel de emisiones de carbono y contaminantes en la universidad. Fomentar el uso de transporte ecológico disminuirá la huella de carbono alrededor del campus

6	Educación (ED)	Este indicador hace referencia a todas las actividades de conocimientos relacionadas con el medio ambiente, investigación para el desarrollo sostenible, entre otros.
---	----------------	---

Fuente: (GreenMetric, 2019).

Dentro de los seis indicadores que evalúan la sostenibilidad de un campus universitario, el indicador más importante es el que hace referencia a la Energía y cambio climático (CE).

1.4 Energías renovables

Las energías renovables se las puede considerar como fuentes de energía inagotable, que se pueden obtener a partir de fuentes naturales que se regeneran con el tiempo. Además, pueden suplir las fuentes de energía convencionales con un efecto positivo al medio ambiente, debido a que mejoran el desarrollo sostenible para la conservación del medio ambiente (Jarauta, 2015). La Tabla 2 muestra las diferentes energías renovables existentes en el mundo con sus respectivas ventajas y desventajas.

TABLA 2
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES.

Fuentes renovables	Proveniente	Ventajas	Desventajas
Solar	- Obtenida a partir de la energía del sol.	- Inagotable - Energía limpia - Gran potencial de desarrollo a futuro.	- No es constante debido a factores como el estado atmosférico.
Mini-Hidráulica	- Proveniente de los ríos y corrientes de agua dulce.	- Es renovable. - Es Limpia.	- Grandes inversiones para su construcción. - Algunos problemas ecológicos (ríos).
Eólica	- A partir del viento, aprovechando la velocidad de las corrientes de aire.	- Inagotable - Posible alternativa al cambio climático debido a que no produce gases de efecto invernadero	- Varios problemas de impacto ambiental (ruido y visual). - No es constante debido a condiciones climatológicas.
Geotérmica	- Aprovechando la temperatura de la tierra.	- Constante. - Inagotable. - Excelente funcionamiento, en bajas temperaturas.	- Requiere bastantes recursos económicos (Máquinas especiales, personal especializado).
Biomasa	- A partir de la materia orgánica.	- Es renovable - No contamina - Disminuye GEI	- No existe muchos lugares para su desarrollo.

Fuente: (Jarauta, 2015)

Como se puede observar en la Tabla 2, las distintas fuentes de energía renovables están sujetos a una serie de ventajas y desventajas que dependen de su origen, su desarrollo, los recursos económicos, condiciones climáticas, entre otros.

1.5 Energía solar

La energía que se produce a partir del sol se denomina energía solar. Esta es una fuente de energía ilimitada, gratuita y no contaminante, por lo que puede ser aprovechada de distintas formas, una de ellas es principalmente a través de la captación fotovoltaica para generar electricidad. (Tobajas C. , 2017).

La tierra recibe la energía emitida por el sol en forma de radiación solar. La radiación solar que recibe el borde exterior de la atmósfera terrestre en su distancia promedio, se llama constante solar y su valor es igual a $1,353 \text{ W/m}^2$, variable en un $\pm 3\%$ a causa de las diferentes distancias existentes entre la tierra y el sol durante un año. Esta radiación solar que llega a la tierra no es uniforme y varía según la zona, debido a factores como la ubicación geográfica, horario, climas de la zona y alcance de la tierra. (Rajput, 2017).

El potencial de energía solar se evalúa en función de diferentes indicadores. Estos consisten en el desarrollo tecnológico, la economía de los recursos solares, la cobertura del suelo, los recursos de energía solar y las políticas gubernamentales. Cada uno de estos parámetros influyen significativamente en el progreso del mercado de la energía solar y permiten realizar un análisis completo del potencial de energía solar, en el cual no solo se basa en el recurso de energía solar sino también en otros factores como el tecnológico, económico, etc. (Yuhu, Jing, Yanru, & Peng , 2019).

Por otra parte, el mercado mundial de energía solar ha tenido un avance significativo durante los últimos años, por lo que según La Agencia Internacional de Energía (AIE) tiene como expectativa para el 2050 que la participación de la energía eléctrica mundial de los sistemas fotovoltaicos alcance un 16%. La excesiva cantidad existente de energía solar es indudablemente el parámetro principal que influye en la producción de energía eléctrica, por lo que una adecuada utilización de la radiación solar permite un óptimo desarrollo de la energía solar (Yuhu, Jing, Yanru, & Peng , 2019).

Desde el punto de vista de varios autores se puede definir a la energía solar fotovoltaica como la electricidad obtenida directamente de la conversión de la energía solar. Esta conversión se produce a partir del efecto fotovoltaico, el cual se ocasiona en materiales semiconductores que cuenta con dos bandas de valencia. En la primera banda conocida como "valencia prohibida" se permite la existencia de electrones y la otra banda llamada "banda conductora" está completamente vacía o libre de electrones. El material

semiconductor es una capa delgada de silicio que ha sido dopado con fósforo o boro, formando de esta manera una unión PN (Pavón Vallejos , 2017).

La Figura 1 muestra la estructura de una celda solar típica, la cual consiste en una unión PN siendo la parte principal de la celda, donde la parte que recibe la luz es el material de tipo N y en la parte debajo de este, es el material de tipo P (Vasconcelos Sampaio & Aguirre González, 2017).

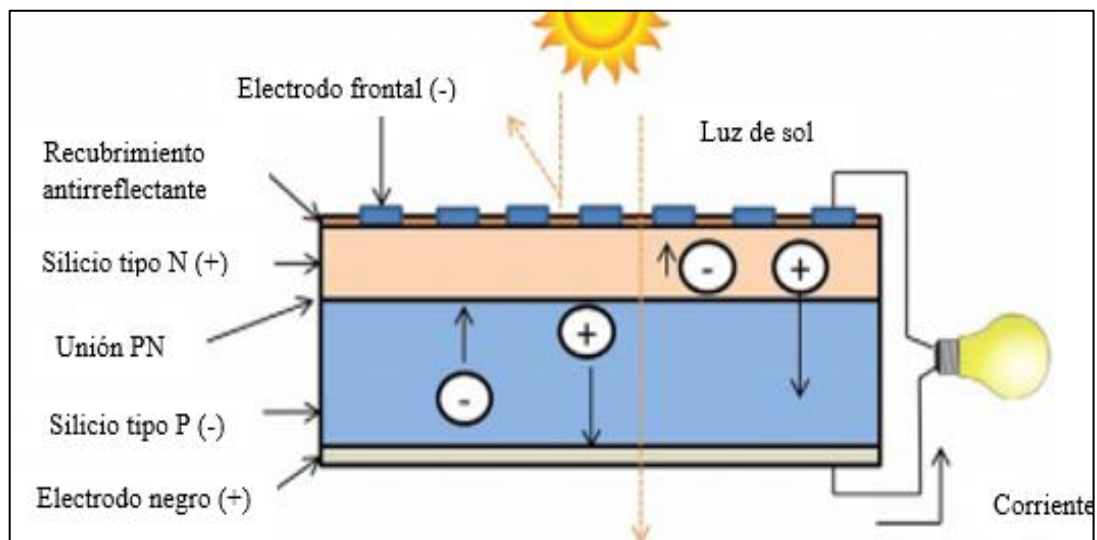


Fig. 1. Célula fotovoltaica típica.
Fuente: (Vasconcelos Sampaio & Aguirre González, 2017)

El principio de funcionamiento de la luz emitida por el sol en el efecto fotovoltaico consiste en proporcionar al electrón más alejado una cierta cantidad de energía para que pueda desplazarse de la banda de valencia hacia la banda conductora en el material, produciendo de esta forma electricidad (Vasconcelos Sampaio & Aguirre González, 2017).

1.6 Sistemas fotovoltaicos

En la actualidad, los sistemas fotovoltaicos han tenido un avance significativo en cuanto a funcionamiento y mantenimiento, ya que estos sistemas fotovoltaicos independientemente de la eficiencia de las distintas tecnologías empleadas para su fabricación se enfocan en diseños mejorados tanto en operación, como en los componentes que se utilizan para el funcionamiento óptimo del sistema (Molina García & Melchor Hernández, 2016).

Generalmente, los sistemas fotovoltaicos están conformados por componentes eléctricos y electrónicos que aprovechan al máximo la captación de radiación solar para luego convertirla en energía eléctrica. El componente principal de este sistema es conocido como panel solar, formado por células solares que conectadas entre sí permiten la conversión de la energía solar en corriente directa (DC) como se muestra en la Figura 2. En el sistema fotovoltaico el controlador de carga sirve de protección a la batería, que a su vez está es

encargada de alimentar al inversor, el cual transforma la corriente directa (CD) en corriente alterna (CA) y permite la alimentación de las cargas (Molina García & Melchor Hernández, 2016). Todos estos componentes son sujetados por una estructura que está orientada a optimizar la irradiación solar.

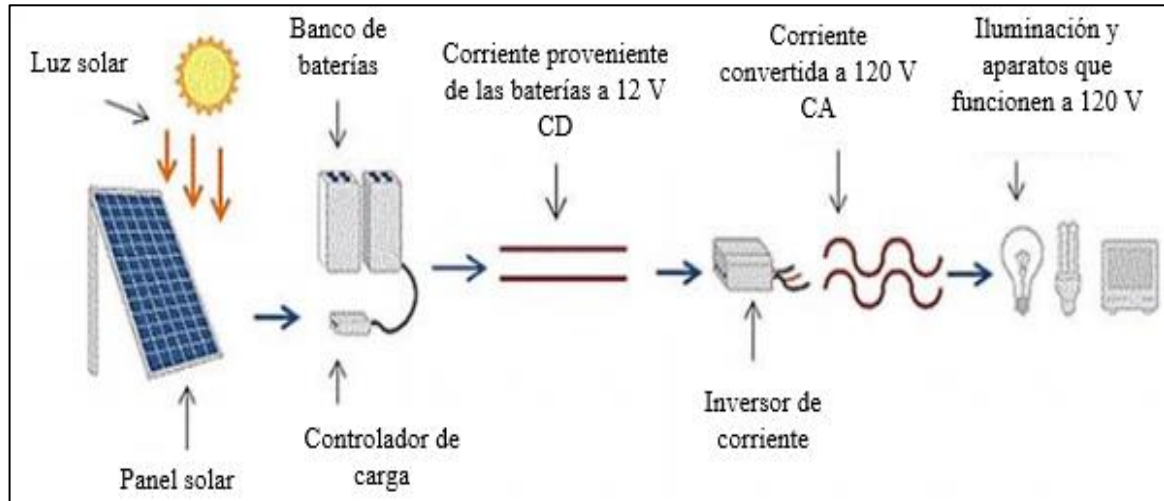


Fig. 2. Sistema fotovoltaico típico
Fuente: (Molina García & Melchor Hernández, 2016)

Por otra parte, la cantidad de electricidad que generen los sistemas fotovoltaicos, dependerán de ciertos parámetros como la cantidad de radiación solar que incide sobre la superficie de la célula fotovoltaica, la orientación, la inclinación y la cantidad de paneles solares que se utilicen (Hérmendez Gallegos, 2017). En la Tabla 3 se muestran las ventajas y desventajas que presentan los sistemas fotovoltaicos (Mascarós, 2016).

TABLA 3
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - No producen gases contaminantes ni ruidos. - Permite generar energía eléctrica cerca del punto de consumo, permitiendo reducir pérdida. - Se pueden implementar fácilmente a los edificios. - Requiere de un mantenimiento mínimo. - Su vida útil es aproximadamente 50 años y puede complementar con la energía eólica. 	<ul style="list-style-type: none"> - Coste elevado, pero va reduciendo en función de cómo avanza la tecnología. - Bajo rendimiento en cuanto a tecnología, aunque va aumentando conforme avanza la tecnología. - Su disponibilidad no está siempre asegurada, debido a cambios climáticos. - En los sistemas autónomos es necesario incluir baterías.

Fuente: (Mascarós, 2016)

Por lo tanto, los sistemas fotovoltaicos van a estar influenciados por factores que van a depender del lugar de la instalación, condiciones climáticas de la zona, eficiencia y tecnología empleada en la fabricación de los paneles solares, entre otras cosas.

1.6.1 Tipos de sistemas fotovoltaicas

Los sistemas fotovoltaicos se pueden clasificar de dos formas: Sistemas aislados (autónomos) y sistemas conectados a la red.

- **Sistemas conectados a la red**

El sistema fotovoltaico conectado a la red tiene como característica principal controlar la energía eléctrica que el inversor inyecta en la red a partir de la energía suministrada por el panel solar fotovoltaico. El rendimiento del sistema fotovoltaico y la calidad de la energía inyectada por el inversor en la red eléctrica dependen de la calidad del control de corriente del inversor. Estos sistemas cuentan con módulos fotovoltaicos, conectados a la red por medio de un conjunto de componentes que incluye un convertidor de CC / CA, el filtro y otros componentes de control que son necesarios para el óptimo funcionamiento del sistema (Hassaine & Bengourina, 2019).

- **Sistemas fotovoltaicos aislados**

Los sistemas aislados o autónomos, tiene como objetivo principal convertir la energía solar en electricidad para su autoconsumo. Estos sistemas están aislados de la red eléctrica y emplean un sistema de acumulación energético, que permite el almacenamiento de energía para proporcionar la electricidad necesaria cuando la generación es menor que el consumo. Estos sistemas cuentan con paneles fotovoltaicos, baterías, reguladores de carga e inversores (Chicaiza Chacha & Quisaguano Escobar, 2018).

1.6.2 Descripción de componentes de un sistema solar fotovoltaico

Dentro de un sistema solar fotovoltaico existen diferentes componentes que permiten que sea posible la transformación de la energía solar en energía eléctrica. A continuación, se describe los dispositivos principales empleados en un sistema fotovoltaico típico independientemente de si esté o no conectado a la red.

- **Paneles solares**

El componente principal de cualquier sistema fotovoltaico se conoce como panel solar. Este dispositivo está formado por células fotovoltaicas que se encuentran conectadas en serie y/o paralelo, de tal manera que la corriente y voltaje suministrado por el panel solar se ajuste al valor requerido. Además, los paneles tienen elementos de protección que le permiten conservar una adecuada rigidez contra agentes externos y facilitan una sujeción fija a la estructura que los sostiene (Guerrero, 2019).

El panel solar está condicionado por varias parámetros que permiten su óptimo funcionamiento como la curva característica del panel solar, el diseño y la orientación. La

curva característica (I-V) de un panel solar cambia en dependencia de la irradiación y la temperatura. Esta curva V-I al encontrarse en su máximo punto de potencia, el panel solar suministra la máxima potencia de salida. A lo largo de los años se ha desarrollado varias tecnologías y procesos de fabricación de células solares con la finalidad de conseguir una máxima potencia de salida de los paneles. Sin embargo, se está empleado un método de reflexión de espejo que permite obtener una mayor generación de potencia de salida de los paneles solares (Asokan & Patil, 2016). En cuanto a la ubicación de un panel solar, no existe limitaciones y puede ser ubicado en cualquier lugar sin alguna restricción. Además de la selección del sitio, se debe determinar la orientación óptima de cada panel y el ángulo óptimo de inclinación de la célula solar (Zhong & Tong, 2019) .

- **Inversor**

El inversor fotovoltaico tiene como función principal convertir la corriente continua (CD) generada por las celdas fotovoltaicas en corriente alterna (CA), cumpliendo ciertas condiciones de frecuencia, tensión, corriente y eficiencia que permitan un óptimo funcionamiento dentro del sistema fotovoltaico. En general, los inversores utilizan dos etapas de conversión de la energía; la primera consiste en convertir la energía DC que recibe del panel solar en DC, aumentando de esta manera el voltaje a valores más elevados. La segunda etapa consiste en la conversión de la energía de CD/ CA para la inyección a la red eléctrica o a las correspondientes cargas (Scarabelot, Rambo, & Rampinelli, 2018).

Generalmente, los inversores AC/DC deben contar con varias características que le permitan desempeñar su función de la mejor manera. Dentro de las características principales se pueden contemplar un óptimo dimensionamiento en cuanto a tamaño, peso, bajo costo, vida útil, buena calidad de energía a la salida y un seguimiento de potencia máxima de cada panel solar fotovoltaico para maximizar la energía inyectada a la red (Wang , Moreda, Muñoz, & García, 2018) .

Los inversores han tenido un gran desarrollo en cuanto a la eficiencia de conversión de CD/CA, consiguiendo eficiencias de potencias promedio del 98% y eficiencias a rangos de carga de un 10 o 20% de la potencia nominal. La eficiencia de conversión del inversor CD / CA se la puede definir como la relación que existe entre la energía eléctrica de salida del inversor y la energía eléctrica de entrada de los polos (Scarabelot, Rambo, & Rampinelli, 2018).

- **Control de carga**

El controlador de carga es un dispositivo empleado en los sistemas fotovoltaicos autónomos y sirve como protección de la batería en la etapa de descarga y sobrecarga, así

también es encargado de la protección de las cargas del sistema en situaciones peligrosas de operación. Esto último depende de las condiciones en las que se encuentra la carga de la batería. Como se observa en la Figura 3, el controlador de carga depende tanto de la variación de la tensión de la batería como el estado de esta (Molina García & Melchor Hernández, 2016).

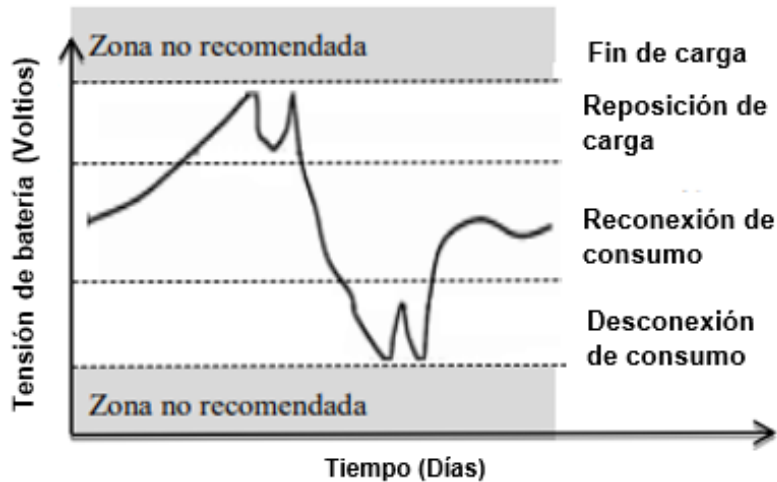


Fig. 3. Comportamiento del controlador de carga en función de la tensión de la batería.
Fuente: (Molina García & Melchor Hernández, 2016)

Molina García & Melchor Hernández (2016) indica que las características principales del controlador de carga son:

- a) Voltaje de desconexión de las cargas de consumos, que hace referencia al valor de la batería que interrumpe el suministro de electricidad.
- b) Voltaje final de carga que corresponde al valor de la tensión de la batería que interrumpe la conexión entre el panel fotovoltaico y la batería.

- **Acumulador**

La batería es otro elemento que se emplea en los sistemas fotovoltaicos autónomos y tiene como función principal almacenar la energía generada por los paneles solares fotovoltaicos, con el objetivo de disponer de dicha energía almacenada en periodos en el cual exista poca radiación solar. Además, este dispositivo debe cumplir con características necesarias tanto para su óptimo funcionamiento y como para el de algunos componentes del sistema fotovoltaico (Guerrero, 2019). Algunas de sus características principales se muestran en la Tabla 4:

TABLA 4
CARACTERÍSTICAS DE LA BATERÍA FOTOVOLTAICA.

Característica	Descripción
Capacidad	Cantidad de energía que puede almacenarse en la batería.

Eficiencia de carga	Relación entre la energía utilizada para cargar la batería y la que verdaderamente se almacena.
Auto descarga	Proceso en el cual la batería de descarga o pierde energía sin estar en operación.
Profundidad de descarga	Porcentaje de descarga que una batería ha perdido al encontrarse inicialmente cargada.

Fuente: (Guerrero, 2019).

La Tabla 4 muestra el funcionamiento típico de una batería que consiste básicamente en un proceso de carga y descarga, contemplando los parámetros de sobrecarga y sobre descarga que causan serios problemas como en el deterioro de ésta, pero que son regulados por el controlador de carga. (Guerrero, 2019).

Es necesario aclarar que los sistemas fotovoltaicos conectados a la red no necesitan la utilización baterías, debido a que la energía generada por este tipo de sistema se inyecta a la red principal para ser distribuida a otros puntos de consumo. Por lo que, los sistemas conectados a la red son más económicos, más beneficiosos y no requieren tanto mantenimientos como los sistemas autónomos (Kouro, Leon, Vinnikov, & Franquelo, 2015).

1.7 Tecnologías de las células fotovoltaicas

La tecnología de las células fotovoltaicas ha tenido grandes avances durante los últimos años debido a la necesidad de ofrecer nuevos materiales para la fabricación de células solares de alta eficiencia, bajo costo y con una larga vida útil. Las células solares se clasifican en generaciones con base al momento de su aparición en el mercado. En la Tabla 5 se muestra las principales tecnologías de células solares que actualmente están posicionadas en el mercado fotovoltaico.

TABLA 5
CLASIFICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE CÉLULAS SOLARES.

Primera Generación	Silicio cristalino	- Células de Silicio Monocristalino - Células de Silicio Policristalino
Segunda Generación	Película delgada	- Células de Silicio Amorfo - Células de Telurio de Cadmio (CdTe) - Células de Arsenio de Galio (GaAs)

Fuente: (Olaleru, Kirui, Wamwangi, Roro, & Mwakikunga, 2020)

La primera generación de células solares está basada en silicio cristalino (c-Si). Mientras que la segunda generación contempla las células solares de película delgada (Olaleru, Kirui, Wamwangi, Roro, & Mwakikunga, 2020).

1.7.1 Células solares de silicio cristalino (SI)

La tecnología fotovoltaica que domina el mercado es el silicio cristalino (c-Si) debido a su durabilidad, compatibilidad con la tecnología de microelectrónica, desarrollo y la alta eficiencia de conversión (Zhuk, et al., 2017). Además, al ser el silicio el segundo elemento más abundante en la tierra impulsa su preferencia en el mercado fotovoltaico. Sin embargo, el costo de fabricación de las células solares basado en Si es elevado y requiere de procesos altamente sofisticados y complejos. Asimismo, al ser un tipo de tecnología rígida necesitan de un soporte mecánico de alto costo, sin embargo, actualmente están apareciendo tecnología de Si del tipo flexible que se adapta a cualquier superficie, permitiendo ahorrar los costos por estructura y transporte debido a que son livianos y maleables. (Olaleru, Kirui, Wamwangi, Roro, & Mwakikunga, 2020). Dentro de las células solares de silicio se puede clasificar las células monocristalina y policristalina.

1.7.2 Células de Silicio Monocristalino

Las células solares de silicio monocristalino poseen la mayor eficiencia de conversión fotovoltaica en el mercado con una alta confiabilidad (Li, He, Lyu, Song, & Wu, 2019) . El rendimiento de este tipo de tecnología está en el rango del 15-18% directamente y el rendimiento del laboratorio es de 24%. Sin embargo, aunque son las más eficientes y las más utilizadas su costo de fabricación es elevado (Tobajas C. , 2018). Otra desventaja que presenta las células solares basadas en silicio es la pérdida de una cantidad significativa de material durante su fabricación (TaGçJoLlu, TaGkJn, & Vardar, 2016).

1.7.3 Células de Silicio Policristalino

El proceso de fabricación es menos eficiente a diferencia de su contraparte la tecnología de Si, sin embargo, su coste de producción no es tan elevado. La técnica de producción generalmente empleada es la técnica de fundición (TaGçJoLlu, TaGkJn, & Vardar, 2016). El rendimiento de esta célula se encuentra en el rango del 12 a 14% y el del laboratorio redondea entre un 19 y 20%. Este tipo de célula se diferencian de las células monocristalinas por su forma cuadrada y su reducido espesor de varias micras, esto le permite aprovechar de mejor manera el espacio entre células que conforman el módulo fotovoltaico (Tobajas C. , 2018).

1.7.4 Células solares de película delgada

La célula solar de película delgada basada en calcogenida se presenta como una alternativa potencial para obtener un mayor rendimiento y desarrollo en el proceso de fabricación de las células solares (Cabeza & Cuicaíta, 2017). Este tipo de tecnología tiene la ventaja de que puede fabricarse de una forma más delgada y liviana en comparación a la tecnología de Si (Olaleru, Kirui, Wamwangi, Roro, & Mwakikunga, 2020). Además, hay dos

tecnologías de película delgada que destacan en el mercado fotovoltaico: telururo de cadmio (CdTe) y di-seleniuro de cobre, indio y galio (CIGS). Estas dos tecnologías han tenido avances significativos y han alcanzado la producción comercial. Sin embargo, a pesar de que los de los módulos fotovoltaicos de película delgada CdTe y CIGS compiten en eficiencia con las células solares basadas en Si, presentan varios inconvenientes debido a que emplean metales tóxicos como el Cd y escasos como el In, por lo que son temas de preocupación para ciertas aplicaciones (Zhuk, et al., 2017).

1.7.5 Células amorfas

Las células amorfas poseen una baja eficiencia de conversión de un rango del 7% al 9% (Safyanu, Abdullah, & Omar, 2019). Sin embargo, este tipo de tecnología tienen la ventaja de ser maleables y se adaptan fácilmente en superficies con tamaños considerables. (Tobajas C. , 2018). Otra de las ventajas más significativas que presentan es que el coste de producción que no es tan elevado en términos de consumos energético y pérdida de material para su fabricación a diferencia del silicio cristalino. Por otra parte, las células amorfas poseen la desventaja de degradarse por exposición a la luz (Guerrero, 2019).

1.7.6 Células solares de teluro de cadmio de película delgada (CdTe)

La célula de teluro de cadmio (CdTe) utiliza un método de producción denominado pulverización catódica (Acevedo, Bernal, Montes, & Morales, 2017) . La eficiencia de conversión directa para este tipo de tecnología varía en un rango de 9 -13% y el de laboratorio es alrededor del 19.6% (Torres, Jurado, Granados, & Lozano, 2018). Las células CdTe ha tenido grandes avances en términos de reducción de costo, eficiencia y procesos de fabricación. Además, presentan una respuesta positiva en temperaturas mayores a 25°C, logrando una producción de energía de un 8% más que la tecnología basada en Si. Sin embargo, a pesar de obtener eficiencias altas, el teluro de cadmio se considera un material peligroso para el ser humano, causando serios problemas a su salud debido a los diferentes compuestos, por lo que se implementa programas de reciclaje y seguridad para corregir este inconveniente (Cabeza & Cuicaíta, 2017).

1.7.7 Células solares (CIGS)

Los elementos que destacan dentro de este tipo de tecnología denominada células solares (CIGS) son: indio, cobre, indio, galio y selenio o azufre. Estos elementos considerados los mejores materiales de absorción permiten obtener eficiencias de conversión fotovoltaica de 16% a nivel comercial y un 22,3% en el laboratorio. El método de producción de este tipo de tecnología se basa en una reacción química llamada evaporación conjunta aplicada tanto para sustratos rígidos y flexibles. Las ventajas que presenta las células solares (CIGS) es su

alto rendimiento, costes reducidos de producción, buena adaptabilidad a cualquier tipo de superficie. Sin embargo, a pesar de su alta eficiencia, este tipo de tecnología debe superar ciertas limitaciones como el aumento de eficiencia de las células hasta su potencial máximo, reducir materiales y energía para su fabricación (Cabeza & Cuicaíta, 2017).

1.7.8 Comparación entre tecnologías fotovoltaicas

Existen varios parámetros de los diferentes tipos de tecnologías fotovoltaicas que conducen a una diferencia en cuanto a eficiencia nominal, eficiencia de laboratorio y características propias de las células solares. Aunque todos estos parámetros se pueden determinar, se debe tener cuenta las condiciones que difieren durante la medición (Pearsall, 2017). La Tabla 6 muestra que la diferencia más notable entre los tipos de tecnologías investigadas es la eficiencia de conversión, costos y su durabilidad. Por lo que, se puede inferir que la tecnología más empleada es la célula solar basada en silicio monocristalino y policristalino, debido a su alta eficiencia y gran durabilidad. Sin embargo, presentan costes elevados de producción y un consumo energético alto. Por otra parte, las tecnologías basadas en película delgada son una alternativa viable en términos de eficiencia, reducción de costos de producción y se prevé a futuro mayores rendimiento y desarrollo en el proceso de fabricación. Sin embargo, este tipo de tecnología presentan desventajas significativas frente a las células basadas en Si debido al impacto ambiental que produce los materiales empleados para su fabricación.

TABLA 6
COMPARACIÓN ENTRE LAS TECNOLOGÍAS FOTOVOLTAICAS.

Tecnología	Eficiencia conversión (%)	Eficiencia laboratorio (%)	Características	Referencias
Silicio monocristalino	15 - 18%	24%	<ul style="list-style-type: none"> - Gran durabilidad. - Poca degradación de sus propiedades con el tiempo. - Mayor eficiencia de conversión fotovoltaica. - Costes elevados en el proceso de fabricación. - Pueden ser rígidos o flexibles 	(Li, He, Lyu, Song, & Wu, 2019), (Tobajas C. , Energía solar fotovoltaica, 2018).
Silicio policristalino	12 a 14%	19 y 20%	<ul style="list-style-type: none"> - Su coste de fabricación es más barato a diferencia de las células monocristalinas. - Buena durabilidad. - Eficiencias de conversión similar a las células de monocristalino. 	(Tobajas C. , Energía solar fotovoltaica, 2018), (TaGçJoLlu, TaGkJn, & Vardar, 2016).

Silicio amorfo	7% - 9%	----	<ul style="list-style-type: none"> - Se adapta en sustratos flexibles y rígidos. - Son maleables. - Menor coste de fabricación. - Menor eficiencia - Rápida degradación por exposición al sol. 	(Tobajas C. , Energía solar fotovoltaica, 2018), (Guerrero, 2019), (Safyanu, Abdullah, & Omar, 2019)
Teluro de cadmio (CdTe)	9% -13%	19.6%%	<ul style="list-style-type: none"> - Es una tecnología barata. - Coste barato en el proceso de fabricación. - Alta eficiencia de conversión. - Respuesta positiva en temperaturas mayores a 25°C. - Se considera como un material peligroso por lo que necesita reciclaje. 	(Cabeza & Cuicaita, 2017), (Torres, Jurado, Granados, & Lozano, 2018).
Células solares (CIGS)	16%	22,3%	<ul style="list-style-type: none"> - Posee los mejores materiales para absorber energía solar. - Alta eficiencia. - Poco posicionamiento en el mercado fotovoltaico. - Debe superar limitaciones como la reducción de energía y materiales en su proceso de fabricación. - Pueden ser rígidos o flexibles 	(Cabeza & Cuicaita, 2017)

Fuente: Autor.

Por lo expuesto en la Tabla 6, se determina que la tecnología que se empleará para efectuar el análisis técnico referente a la producción de energía fotovoltaica es la tecnología solar monocristalina del tipo flexible debido a que contempla características requeridas para aplicación tales como: alta eficiencia de conversión fotovoltaica, buena durabilidad y adaptabilidad a cualquier superficie.

1.8 Determinación del potencial de energía fotovoltaica en edificios.

Para determinar el potencial de energía solar en un edificio es necesario contemplar varios parámetros que influyen en su análisis como; los distintos niveles de radiación solar que recibe una determinada superficie, la ubicación y orientación del módulo fotovoltaico, el impacto de las sombras, condiciones climáticas, etc. La evaluación y cumplimiento de estos parámetros permiten conocer la cantidad energía fotovoltaica que se puede generar con

paneles solares instalados en la envolvente de un edificio que comprende fachadas laterales y techo. Por lo tanto, una estimación precisa de datos de radiación solar, así como también un análisis confiable del entorno atmosférico es significativo para el desarrollo de proyectos basados energía solar integrada a edificios. (Cheng, et. al., 2020)

1.9 Parámetros que influyen en el análisis solar

En el proceso de evaluar el recurso solar, se deben tener en cuenta varios parámetros que influyen en su rendimiento, tales como: la inclinación, orientación, efecto de sombras, temperatura y viento. Estos parámetros se describen en la Tabla 7:

TABLA 7
PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN EL RENDIMIENTO DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO.

Parámetros	Descripción
Orientación e inclinación	Los paneles solares deben estar orientados de forma tal que puedan aprovechar al máximo la cantidad de la radiación solar durante el año. Por otra parte, la inclinación va a depender de la latitud del lugar en el cual se va a instalar el módulo FV, a fin de que la radiación solar sea perpendicular a la superficie del panel solar.
Efecto de la Sombra	Para evitar el efecto sombra sobre los módulos solares, se debe tratar de ubicarlos en lugares donde la incidencia de sombra no afecte su producción de energía y rendimiento. Asimismo, al momento de instalar el arreglo de paneles solares es recomendable dejar un espacio de 3m entre módulos FV para no generar sombras por consecuencia de estos.
Temperatura y viento	A medida que la temperatura aumente, el voltaje tiende a caer considerablemente ocasionando que el rendimiento del panel solar fotovoltaico disminuya. Mientras que si la temperatura la corriente disminuye provocando que la potencia del módulo se eleve en un determinado porcentaje. El viento será un factor determinante cuando la arquitectura del panel solar no sea resistente.

Fuente: (Potes , 2019)

1.10 Ángulos solares

Determinar la posición del sol con respecto a un punto en específico de la superficie terrestre es imprescindible, puesto que permite conocer la trayectoria solar en función de la latitud deseada, facilitando de esta manera el cálculo de la producción de energía fotovoltaica. (Sánchez, 2016). Dentro de los ángulos solares se puede definir el azimut, la altura solar y el cenital, los cuales son descritos en la Tabla 8:

TABLA 8
 ÁNGULOS SOLARES

Ángulo solar	Descripción
Azimut (σ)	Es el ángulo que se forma entre el norte y la dirección de la proyección del sol sobre el plano horizontal.
Altura solar (β)	Es el ángulo que se forma entre la posición del sol y su proyección sobre el plano horizontal.
Cenital (θ)	Se puede entender como cenital al punto más alto del cielo, complementando la altura solar.

Fuente: (Sánchez, 2016)

1.11 Tipos de radiación solar que inciden sobre el módulo fotovoltaico

La radiación solar es el parámetro más importante al momento de evaluar la incidencia solar de un determinado lugar, ya que esta energía proveniente del sol no es la misma en toda la superficie terrestre, sino que varía de acuerdo con la latitud y longitud de cada lugar. Debido a esto es necesario determinar los tipos de radiación que inciden sobre una zona en específico, para lo cual se consideran las siguientes; radiación directa, difusa y reflejada. Como se muestra en la Figura 4, la radiación solar directa se caracteriza por llegar directamente del sol hacia la superficie incidente sin sufrir ninguna desviación. Mientras que la radiación difusa se describe como la radiación solar que atraviesa las nubes y luego se dispersa en todas las direcciones. Finalmente, la radiación reflejada proviene de la superficie terrestre y otros elementos, y su cantidad depende de las condiciones del coeficiente de reflexión de la superficie (Peña & Pérez, 2016).

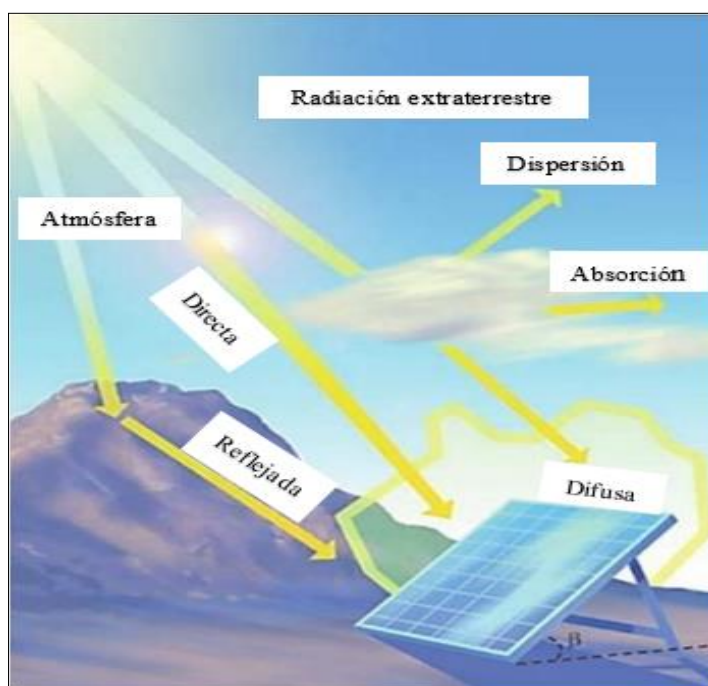


Fig. 4. Tipos de radiación que inciden sobre el módulo fotovoltaico.
 Fuente: (Peña & Pérez, 2016)

La suma de estas tres radiaciones da como resultado la radiación global, que usualmente es proporcionada por centrales meteorológicas.

1.12 Características y elección del módulo fotovoltaico

Para la elección del módulo fotovoltaico se toma en cuenta varias consideraciones como el tipo de tecnología, la eficiencia de conversión, dimensiones que va en función del área disponible para su instalación, costo, tensión y corrientes de trabajo, y una potencia máxima de salida que se ajuste a las necesidades energéticas de la demanda. Teniendo en cuenta que, entre mayor potencia más energía se genera. (Tobajas Vázquez, 2018)

La curva característica de corriente-tensión I-V es la representación estándar de un módulo fotovoltaico que muestra voltajes y corrientes de trabajo bajo ciertos parámetros ambientales. Estos valores de voltaje y corriente están en función de la carga que esté conectada al dispositivo fotovoltaico (Vargas B. & Navia A., 2015). En la Tabla 9 se muestran los parámetros de la curva característica de corriente-tensión I-V:

TABLA 9
PARÁMETROS DE LA CURVA CARACTERÍSTICOS DE UN PANEL SOLAR.

Parámetros	Descripción
Corriente de cortocircuito (I_{sc})	Máxima corriente que produce el panel bajo condiciones definidas de iluminación y temperatura, correspondientes a un voltaje igual a cero.
Voltaje de circuito abierto (V_{oc}):	Máximo voltaje del panel bajo condiciones definidas de iluminación y temperatura, correspondientes a una corriente igual a cero.
Potencia máxima (P_{max}):	Es la máxima potencia que produce el panel en condiciones determinadas de iluminación y temperatura, correspondiente al par máximo I-V.
Corriente en el punto de máxima potencia (I_{mp})	Es el valor de la corriente para P_{max} .
Voltaje en el punto de máxima potencia (V_{mp})	Es el valor de voltaje para P_{max} .
Factor de forma (FF)	Es el valor correspondiente al cociente entre P_{max} y el producto de I_{sc} por V_{oc} . Proporciona una idea de la calidad del dispositivo fotovoltaico.

Fuente: (Vargas B. & Navia A., 2015)

Los parámetros descritos en la Tabla 9, permiten analizar el comportamiento del panel solar fotovoltaico y sus características eléctricas bajo ciertas condiciones ambientales.

1.13 Adquisición y análisis de datos de radiación solar

Los datos recolectados de radiación solar sirven como punto de inicio para poder determinar la posibilidad de implementar un sistema fotovoltaico. Las variables

meteorológicas pueden ser medidas a través de un sistema de adquisición de datos que recolecta tanto señales digitales como analógicas para luego registrarlos en un determinado archivo informático. Estas variables meteorológicas son medidas en determinados periodos de tiempo, mediante la utilización de un registrador de datos que recolecta varias mediciones en un minuto, permitiendo obtener un valor promedio de estos. Para conseguir datos confiables es necesario que dichos datos sean tomados en un periodo considerable de tiempo para reducir posibles anomalías (Serrano, 2016). Como se muestra en la Tabla 10, la adquisición de datos se puede realizar mediante la implementación de una estación meteorológica que incluye diferentes partes como dispositivos de medidas y sensores, módulo de interfaz sensores, registrador de datos y un software.

TABLA 10
PARTES DE UNA ESTACIÓN METEOROLÓGICA

Componentes	Descripción
Dispositivos de medidas y sensores	Miden parámetros como la radiación solar, viento, dirección y velocidad del viento, etc.
Módulo de interfaz sensores	Captan los datos meteorológicos para luego transmitirlos al registrador de datos.
Datalogger	Se encarga de almacenar las medidas realizadas por los sensores.
Software	Recepta y descarga en la computadora los datos almacenados en el datalogger.

Fuente: (Serrano, 2016).

En resumen, la Tabla 10 contiene los elementos necesarios que permiten recoger datos de radiación solar para posteriormente ser analizados, a fin de determinar la posibilidad de implementar un sistema fotovoltaico ya sea conectado a la red o autónomo.

1.13.1 Tratamiento y análisis estadístico de los datos

Una vez recopilados los datos a través de los métodos prácticos, es necesario que dichos datos sean almacenados en un archivo con la finalidad de que posteriormente se pueda realizar un óptimo análisis. Existe varias formas para el procesamiento de datos, sin embargo, actualmente se emplea softwares matemáticos y estadísticos, que facilita en gran medida la tarea, sobre todo cuando se trata de un conjunto de datos considerablemente extensos (Coloma & Sisler, 2017).

1.13.2 Corrección y validación de datos

Para obtener datos más exactos de las diferentes mediciones de radiación solar, es necesario realizar un proceso de corrección que permita la eliminación de datos erróneos

como las mediciones de radiación recolectados en la noche, datos de ruidos generados por los sensores y otros datos erróneos por suciedad o interferencia entre los sensores, etc. Una vez realizada la corrección de los datos se procede a validarlos mediante la comparación de datos de radiación solar proporcionados por una central meteorológica confiable. Si los valores tienen cierta similitud se puede considerar que los datos recogidos están validados adecuadamente. (Serrano, 2016).

CAPÍTULO 2

Diseño de un generador fotovoltaico

En el presente capítulo se procede a diseñar un generador fotovoltaico para el edificio FICA. Esto se realizará con base a la evaluación y cuantificación de datos de radiación solar que se han recogido anteriormente en el campus universitario, así como también en el análisis de la trayectoria solar con respecto a cada fachada de la Facultad. Por tanto, en función de estos parámetros se determinará la cantidad de energía fotovoltaica que es posible obtener con el dimensionamiento de un generador fotovoltaico instalado en la envolvente del edificio.

2.1 Metodología para el diseño del generador fotovoltaico

Para llevar a cabo la presente investigación, se empleó una determinada metodología a fin de establecer las técnicas y procedimientos que permitan realizar una investigación lógica y ordenada. En este sentido, los métodos aplicados son los siguientes: método analítico, deductivo y sintético.

Para el análisis de la información como los datos de radiación solar, se utilizó el método analítico porque permitió descomponer y analizar toda la información con la finalidad de comprender y describir mejor el objetivo de estudio. Por otra parte, para deducir conclusiones lógicas con base a las fuentes bibliográficas y premisas, que permitan diseñar el generador fotovoltaico se utilizó el método deductivo. El método sintético se utilizó para sintetizar los resultados del análisis de la determinación de producción de energía fotovoltaica.

Las etapas que conforman la presente investigación y el procedimiento empleado para determinar el potencial fotovoltaico se expresan gráficamente a través de un diagrama de flujo, tal como se muestra en la Figura 5.

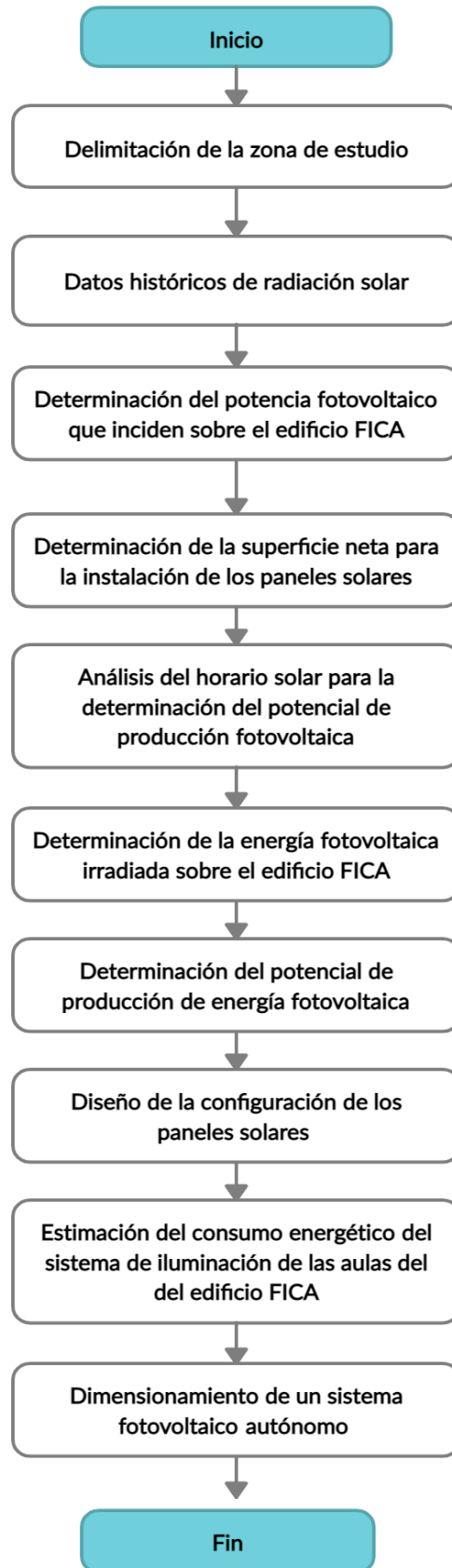


Fig. 5. Flujograma de la metodología aplicada.
Fuente: Autor.

2.1.1 Determinación del potencial solar fotovoltaico

Para el tratamiento estadístico del conjunto de datos de radiación solar que se encuentran almacenados en Excel se utilizará varios indicadores característicos tales como: valor mínimo, máximo, media aritmética, amplitud, rango y porcentual. Asimismo, se analiza las distintas mediciones de Irradiancia en W/m^2 e Irradiación en kWh/m^2 tomando como base los promedios diarios totales y mensuales con la finalidad de determinar valores de interés.

2.1.2 Determinación de la superficie neta para la instalación de los paneles solares

La superficie total disponible para la instalación de los paneles solares fotovoltaicos en la envolvente de un edificio se determina en función del área del panel solar y el número de ventanales en el cual estarán instalados. Para su cálculo se utiliza la Ec.(1) (Requena, 2015):

$$S_n = A_{ps} N_v \quad (1)$$

Donde:

S_n : superficie disponible para la instalación de los paneles solares [m^2].

A_{ps} : área del panel solar [m^2].

N_v : número total de ventanales del edificio FICA.

2.1.3 Determinación de la energía irradiada sobre la superficie total neta

Para calcular la energía irradiada que se puede obtener sobre una superficie neta se aplica la Ec.(2) (Elghamry, Hassan, & Hawwash, 2020):

$$E_{fv} = G S_n \quad (2)$$

Donde:

E_{fv} : energía fotovoltaica total irradiada sobre la superficie total [kWh].

G : irradiación solar neta [kWh/m^2].

S_n : superficie total neta [m^2].

2.1.4 Determinación del potencial de producción de energía fotovoltaica

La producción de energía fotovoltaica se calcula tomando en cuenta el potencial solar incidente en la zona de estudio y la potencia máxima de los módulos fotovoltaicos que se van a instalar. Para su cálculo se utiliza la Ec.(3) (ECOFENER, 2018):

$$P_{gf} = H_S P_{if} \quad (3)$$

Donde:

P_{gf} : potencial de producción de energía fotovoltaica [kWh].

H_S : son las horas de sol (HS) o la irradiación solar horaria acumulada [kWh/m²].

P_{if} : potencia fotovoltaica instalada [kW].

La potencia fotovoltaica instalada se obtiene aplicando la Ec.(4):

$$P_{if} = N_p P_{nomPFV} \quad (4)$$

Donde:

N_p : es el número de paneles solares fotovoltaicos.

P_{nomPFV} : es la potencia nominal del panel solar fotovoltaico.

- **Estimación de pérdidas de energía por orientación e inclinación**

Para estimar el porcentaje de pérdidas de energía por orientación e inclinación de los módulos fotovoltaicos se toma como base la Figura 6 (Marzá , Encinar, Lledó, & Sesé, 2015). Esta gráfica proporciona las pérdidas por orientación e inclinación con respecto a la inclinación de los módulos FV y el ángulo de acimut del lugar requerido.

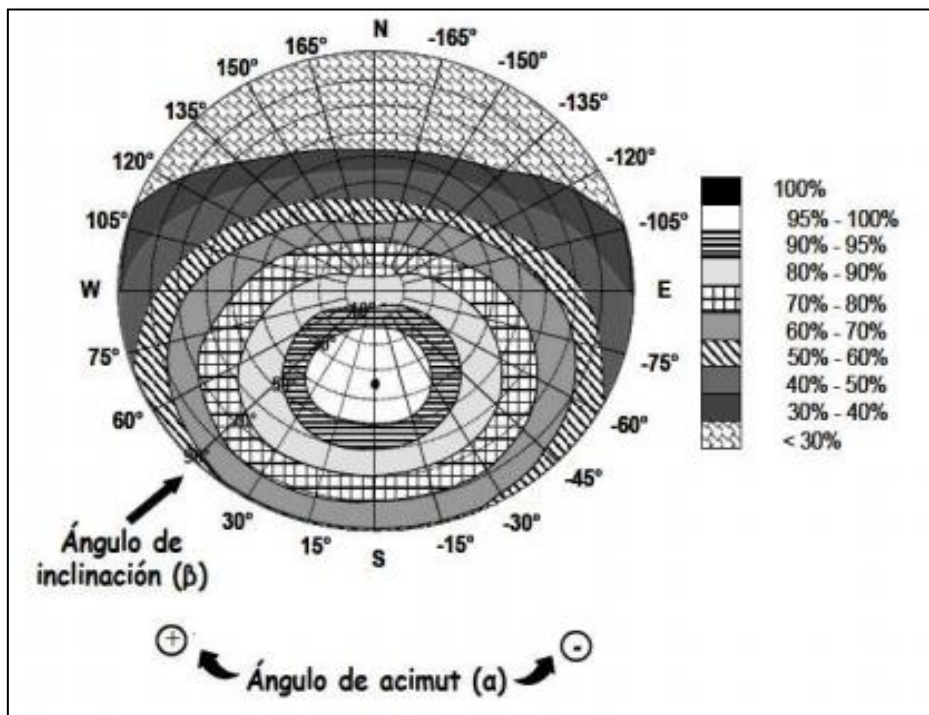


Fig. 6: Porcentaje de pérdidas de energía con respecto a la orientación e inclinación.
Fuente: (Marzá , Encinar, Lledó, & Sesé, 2015)

- **Trayectoria del sol con respecto a una ubicación geográfica**

Para analizar la trayectoria del sol con respecto a la ubicación geográfica de interés, se toma como base los softwares Sun Earth Tools, Sun-Path y SketchUp. Estos softwares a través de sus distintas herramientas proporcionan una carta solar estereográfica en función del lugar de estudio, permitiendo conocer la posición del sol e información sobre el azimut y la altitud solar. Además, el software SketchUP permite construir un modelo de los objetos en los que se desea ver la trayectoria solar.

- **Configuración de los paneles solares fotovoltaicos**

Para diseñar la configuración de los paneles solares fotovoltaicos, su simbología y conexiones se utilizará el software AutoCAD Electrical. Este programa a través de sus distintas herramientas y bibliotecas cuentan con símbolos y componentes eléctricos estandarizados que permiten una adecuada conexión del generador fotovoltaico.

2.1.5 Determinación del consumo energético

El consumo energético diario se determina en función de la potencia nominal de cada una de las cargas instaladas y sus horas de utilización. Para su cálculo se utiliza la Ec.(5) (ClickRenovables, 2015):

$$C_d = \sum P_c H_d \quad (5)$$

Donde:

C_d : consumo diario total [kWh/día].

P_c : potencia de cada equipo [W].

H_d : número de horas al día que se utilizan los equipos.

2.1.6 Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico autónomo (SFVA)

Para el adecuado dimensionamiento de un sistema fotovoltaico autónomo se deben tener en cuenta las cargas que tiene que alimentar el generador fotovoltaico y las condiciones del potencial solar. Asimismo, para el desarrollo del dimensionamiento se debe definir el voltaje nominal del sistema (12, 24 y 48V), generalmente este valor se determina en función de la demanda promedio total.

- **Capacidad del acumulador**

Para definir el tamaño del acumulador se debe tener en cuenta tres parámetros; el primero son los días de autonomía, que hace referencia a los días en que el generador fotovoltaico

en ausencia de sol pueda suministrar energía. El segundo es el nivel máximo de descarga que se le permite a la batería antes de la desconexión con el regulador. Por último, se debe considerar que el voltaje de salida del banco de acumulación sea igual al voltaje de trabajo del sistema FV. Para calcular la capacidad del banco de acumulación se aplica la Ec.(6) (Salvador & Llanes, 2017):

$$Q_{Ah} = \frac{E_t D_a}{V_{bat} P_f} \quad (6)$$

Donde:

Q_{Ah} : capacidad de acumulación de la batería.

E_t : consumo energético diario total.

D_a : días de autonomía.

V_{bat} : voltaje nominal de la batería.

P_f : máxima profundidad de descarga recomendada 50%.

Del mismo modo que los módulos fotovoltaicos, las baterías deben ser conectadas en serie o paralelo a fin de cumplir con la capacidad calculada y con los requerimientos eléctricos del sistema fotovoltaico.

- **Regulador de carga**

Para dimensionar el regulador de carga se deben contemplar dos criterios; el primero es que la tensión nominal de trabajo del regulador debe ser igual a las tensiones del generador fotovoltaico y el sistema de acumulación; el segundo es que la intensidad nominal del conjunto de módulos debe ser menor a la intensidad nominal del regulador de carga. La capacidad del regulador se puede calcular aplicando la Ec.(7) (Garzón & Martínez, 2017):

$$I_r = 1.25 I_{SC} N_{rp} \quad (7)$$

Donde:

I_r : corriente del regulador.

I_{SC} : corriente de cortocircuito de cada panel solar.

N_{rp} : número de ramas en paralelo.

f : factor de seguridad 1.25.

- **Capacidad del inversor**

El tamaño del inversor solar se dimensiona en función del voltaje nominal del sistema y la demanda máxima. Esta última se obtiene mediante la sumatoria de la potencia nominal de cada una de las cargas. Además, el inversor debe ser seleccionado con la finalidad de que su capacidad de potencia sea mayor que la máxima demanda. El número de inversores necesarios para el sistema fotovoltaico se calcula aplicando la Ec.(8) (Salvador & Llanes, 2017)

$$N_{inv} = \frac{1.25 P_{m\acute{a}x}}{P_{inv}} \quad (8)$$

Donde:

$P_{m\acute{a}x}$: potencia máxima de la demanda [W].

P_{inv} : potencia nominal del inversor [W].

- **Dimensionamiento de los conductores**

El dimensionamiento de los conductores debe realizarse tomando en cuenta la distancia entre componentes, la capacidad de corriente en cada tramo y la caída de voltaje máxima admisible. El cálculo de la sección del conductor en función de la caída de voltaje puede obtenerse aplicando la Ec.(9) (Sopeña , 2019)

$$S = \frac{2\rho_e L I}{\Delta V} \quad (9)$$

Donde:

S : sección del conductor [mm²].

ΔV : caída de tensión.

ρ_e : resistividad del cobre [Ω/m].

L : longitud entre componentes [m].

I : Intensidad [A].

El cálculo de la caída de voltaje se obtiene aplicando la Ec.(10) (Cruceira, 2019):

$$\Delta V\% = 2 \frac{\rho_e L I}{S V_N} \times 100 \quad (10)$$

Donde:

ΔV : porcentaje de caída de voltaje entre los extremos de los conductores.

L : longitud entre componentes [m].

I : corriente [A].

V_N : voltaje nominal.

S : sección del conductor [mm^2].

ρ_e : resistividad del cobre en [Ω/m].

En la Tabla 11 se muestran los porcentajes de caída máxima admisible para cada tramo de una instalación fotovoltaica (SFTVA).

TABLA 11
CAÍDA DE TENSIÓN MÁXIMA ADMISIBLE

Tramo	Límite máximo admisible
Paneles - Regulador	3 %
Regulador - Batería	1 %
Batería - inversor	1 %

Fuente: (Cruceira, 2019)

- **Dimensionamiento de las protecciones**

Las protecciones deben instalarse a fin de proteger la instalación de sobrevoltajes y sobreintensidades. Para dimensionar adecuadamente la protección en la línea de continua se deben considerar la intensidad de cada tramo y un factor de seguridad de 125%. Para su cálculo se utiliza la Ec.(11) (Cruceira, 2019):

$$I_{max} = I_{SC}1.25 \quad (11)$$

Donde:

I_{max} : corriente máxima [A].

I_{SC} : corriente de cortocircuito de cada panel [A].

Para dimensionar las protecciones para la línea de alterna se debe considerar el valor de la potencia de salida del inversor, el voltaje al cual se realizará la conexión y un factor de potencia, que para sistemas fotovoltaicos debe ser igual a la unidad. Para su cálculo se utiliza la Ec.(12) (Sopeña , 2019):

$$I_{max} = \frac{P}{V fp} \quad (12)$$

Donde:

P = potencia máxima de salida del inversor [W].

V = Voltaje [V].

fp = factor de potencia, recomendado 1.

2.1.7 Descripción del lugar de estudio

La presente investigación se va a desarrollar en la Universidad Técnica del Norte, específicamente en la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas (FICA). En la Tabla 12 se describe los datos geográficos más relevantes del lugar de estudio.

TABLA 12
DATOS GEOGRÁFICOS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.

Coordenadas		Altitud (m)	Temperatura (°C)	Ciudad
Latitud (°)	Longitud (°)			
0.3580586	-78.1134423	2220 m.s.n.m.	18 °C	Ibarra

Fuente: (Núñez, 2015).

El edificio FICA es uno de los 10 edificios del campus universitario que se encuentra ubicado exactamente al sur con la Biblioteca universitaria, al este con el parque del edificio FICAYA, al oeste con el espacio verde compartido entre el edificio FICA y el edificio Ciencias de la Salud (FCCSS) y al norte con la vía adoquinada interior, tal como se muestra en la Figura 7.



Fig. 7. Descripción de lugar de estudio.
Fuente: Autor.

Además, este edificio de cinco pisos posee una estructura de hormigón armado y una cubierta de estructura metálica. Su fachada es rectangular y está conformada por ventanales que envuelven la Facultad. Dentro de sus instalaciones, existen diferentes laboratorios de informática, aulas de clases, oficinas, baños, secretarías de carreras, salas de profesores y un auditorio. Asimismo, en cada piso cuenta con una caja de breaker para todas las

protecciones y de allí se deriva el circuito para el sistema de iluminación y otro circuito para el sistema de fuerza que comprende toma corrientes.

2.1.8 Datos históricos de radiación solar

Para examinar y cuantificar los niveles de radiación que inciden sobre el edificio FICA, se tomó como base datos históricos de radiación solar que han sido recogido anteriormente en el lugar de estudio. Estos datos de radiación solar fueron recogidos en el campus universitario, durante 157 días consecutivos entre los meses del 20 de febrero del 2019 hasta el 20 de julio del 2019 (Ormeño, 2019). A lo largo de todo este tiempo se recolectaron mediciones por cada minuto del día, dando como resultado 224,877 datos, de ellos 129,800 son datos diurnos. Estas mediciones se realizaron mediante un sensor de radiación solar HOBO ubicado en la parte superior de la Facultad. En la Figura 8 se muestran las series de tiempo medidas por el Sensor de Radiación HOBO.

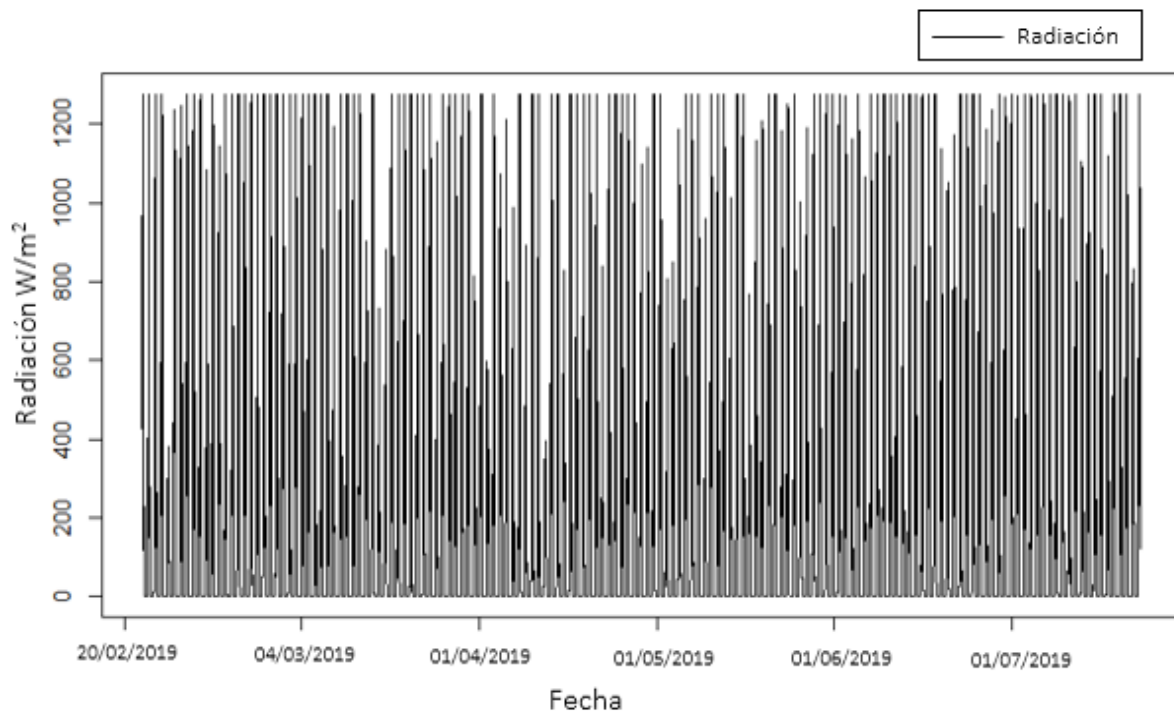


Fig. 8: Series de tiempo de irradiancia solar sensor HOBO desde febrero a julio del 2019.
Fuente: Autor.

2.2 Determinación del potencial solar fotovoltaico

A partir de las series de tiempo mostradas en la Figura 8, se procedió a realizar una extrapolación para cada fachada de la facultad, para posteriormente realizar análisis estadístico a fin de conocer los distintos niveles de irradiación que incide sobre el edificio FICA. Para lo cual, se analizó los valores de radiación solar en kWh/m² tomando como referencia rangos horarios, diarios y mensuales, así como también valores mínimos y máximos a fin de obtener valores promedios de interés, tal como se muestra en la Tabla 13:

TABLA 13
DATOS PROMEDIOS OBTENIDOS A PARTIR DE LAS SERIES DE TIEMPO.

Mes	# Datos	Media	Valor Mínimo	Valor Máximo	Desviación Estándar
Febrero	9	4.73	2.08	6.81	1.83
Marzo	30	4.75	2.53	6.72	1.23
Abril	30	4.21	2.15	6.36	1.34
Mayo	31	4.39	2.04	6.79	1.39
Junio	31	4.51	3.09	6.49	0.99
Julio	30	4.61	3.56	6.21	0.84

Fuente: Autor.

Con base a la Tabla anterior se puede establecer, que el mes con mayor radiación solar es marzo con una irradiación promedio de 4.75 kWh/m² y el mes más desfavorable es abril con un promedio de 4.21 kWh/m². Este último valor se tomará en cuenta para dimensionar el sistema fotovoltaico y determinar el potencial de producción de energía fotovoltaica, ya que, al tratarse del dato de radiación solar más crítico, se podrá cubrir la demanda durante todo el tiempo que se está analizando.

En la Figura 9 se muestran los valores de irradiación distribuidos de manera mensual, notándose un comportamiento bastante similar puesto que las medidas de irradiación varían alrededor de 4.53 kWh/m², lo cual permite interpretar que no existe muchas variaciones importantes con respecto a las estaciones del año. Por cuanto, se considera que en la Facultad incide un nivel de radiación solar promedio bastante aceptable y aprovechable, debido a que las condiciones climáticas en esta zona geográfica son muy favorables para producir energía eléctrica a partir de paneles solares fotovoltaicos.

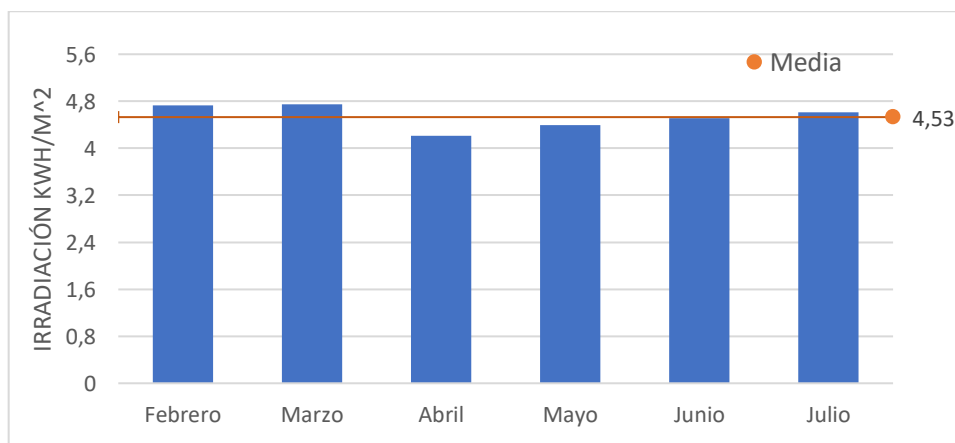


Fig. 9. Radiación solar global media.
Fuente: Autor.

En la Figura 10 se muestran los días de mayor y menor irradiación solar para el periodo de mediciones, correspondientes al primer día del mes de marzo y al treceavo día de mayo

respectivamente. En el primer caso se tiene un valor mínimo promedio para este día de 151 Wh/m² y un máximo promedio de 1,041 Wh/m². Para el segundo caso se tiene un valor mínimo promedio de 61 Wh/m² y un máximo promedio de 345 Wh/m² respectivamente.

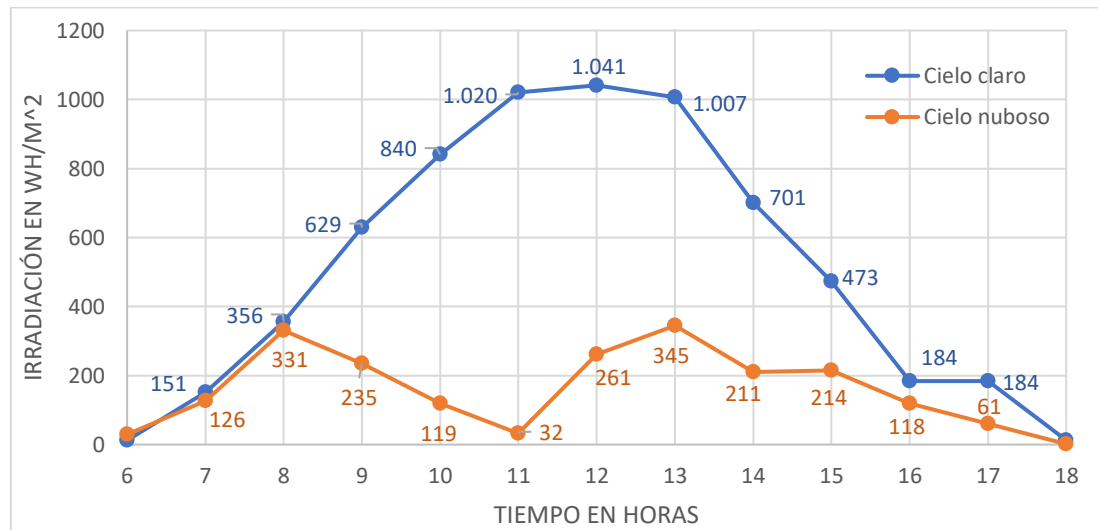


Fig. 10: Días con menor y mayor irradiación en Wh/m²
Fuente: Autor.

Como se puede apreciar la curva en azul presenta un comportamiento tipo de cielo claro, es decir, libre de nubosidad. Mientras que la gráfica en tomate se ve normalmente atenuada por el efecto de las nubes, muy típica de la zona de estudio. Estas dos curvas permiten evidenciar el comportamiento de la irradiación solar frente a la influencia de la nubosidad, teniendo que para un día claro el valor promedio de irradiación global alcanza un valor de 6.60 kWh/m² y para un día con alta nubosidad el valor promedio de la irradiación global reduce significativamente a 2.05 kWh/m². Sin embargo, se debe destacar en esta última curva la presencia de picos que superan los 100 W/m² los cuales son considerados elevados.

Ahora bien, los datos determinados de radiación solar deben ser validados como un paso previo para su aplicación debido a que asegura que la información está siendo analizada y generada correctamente. En este sentido, se procedió a verificar la certeza de los valores obtenidos anteriormente con respecto al Atlas Solar del Ecuador.

El Atlas Solar del Ecuador es una herramienta que permite cuantificar el recurso solar del Ecuador mediante valores promedios mensuales y anuales de radiación solar diaria. Esta herramienta con fines de generación eléctrica fue generada por el “National Renewable Energy Laboratory” (NREL) de los Estados Unidos, el cual, desarrolló un modelo denominado Climatological Solar Radiation Model (CRS), que permite conocer la radiación solar con una resolución geográfica de 40 km por 40 km. Esta información disponible fue publicada en Julio del 2006 (CONELEC, 2008). Actualmente, el NREL actualizó su base de datos en el 2015 y a través del modelo mejorado Physical Solar Model (PSM) obtiene datos de radiación solar a

una resolución espacial de 4km por 4 km cada media hora. Estos datos están validados por 41 estaciones meteorológicas distribuidas a lo largo del territorio ecuatoriano, presentando estimaciones más confiables (Vaca & Ordóñez, 2020).

En la Figura 11 se muestra el estudio efectuado en el Atlas Solar del Ecuador donde se obtuvieron datos medios mensuales de incidencia solar en la zona de estudio de acuerdo con sus coordenadas geográficas.

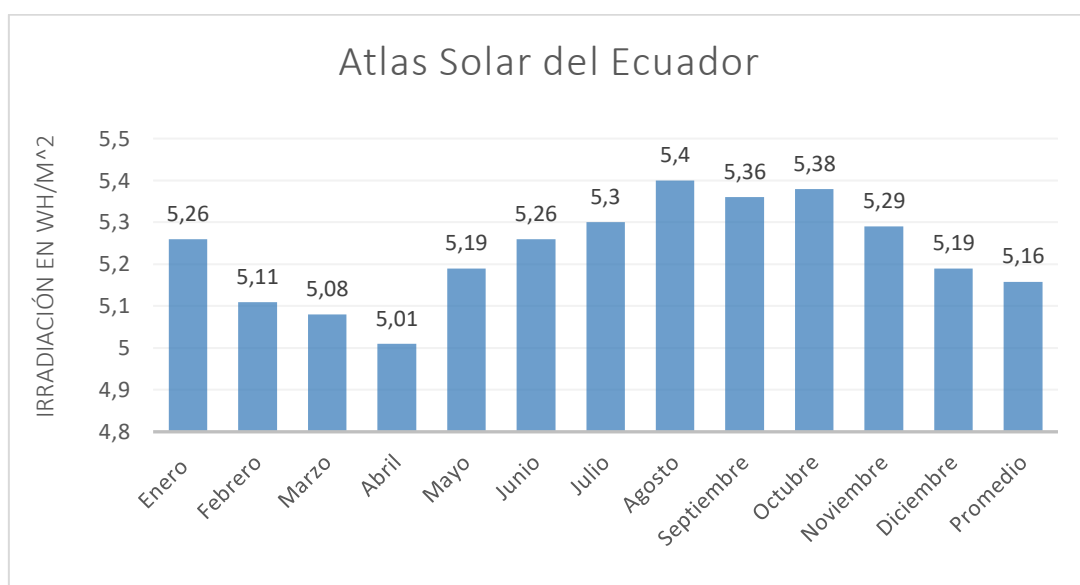


Fig. 11: Radiación solar obtenida a partir del Atlas Solar del Ecuador.
Fuente: (Vaca & Ordóñez, 2020)

En la Tabla 14 se muestra la comparación entre los valores promedio mensuales de radiación solar obtenidos por el sensor HOBO con respecto a los valores proporcionados por el Atlas Solar del Ecuador. En el cual, se puede apreciar que el porcentaje de error promedio existente entre los meses de febrero, marzo, abril, mayo, junio y julio se encuentra dentro del rango del 15%, evidenciando que el potencial solar en la zona de estudio varía de 4.2 a 5.5 kWh/m².

TABLA 14
COMPARACIÓN DE LOS DATOS DE RADIACIÓN OBTENIDOS POR EL SENSOR DE RADIACIÓN CON RESPECTO AL ATLAS SOLAR DEL ECUADOR.

	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Promedio
Datos obtenidos por el sensor de radiación HOBO	4.73	4.75	4.21	4.39	4.51	4.61	4.53
Atlas Solar Ecuador	5.11	5.08	5.01	5.19	5.26	5.3	5.15
Porcentaje de error	8.03%	6.94%	16.38%	15.41%	16.62%	14.96%	13.68%

Fuente: Autor

El resultado comparativo evidencia que los datos de radiación solar global acumulada pueden ser utilizados confiablemente en la zona de estudio y como referencia para el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico, ya que los valores medios mensuales de radiación solar global obtenidos a partir del sensor de radiación instalado en el edificio FICA, se asemejan y muestran coincidencia mensual con respecto a los valores obtenidos del Atlas Solar del Ecuador.

2.3 Determinación de la superficie total neta para la instalación de los módulos fotovoltaicos

La superficie neta disponible para la instalación de los paneles solares va a depender directamente del área de los ventanales del edificio FICA. Esto debido a que los módulos fotovoltaicos van a estar fijados de forma vertical en la mayoría de las ventanas acristaladas que envuelven la Facultad. Por lo tanto, para determinar el área total disponible se tomó como base solamente las dimensiones de uno de los ventanales del edificio, puesto que las medidas de todos éstos son idénticas y tienen la misma estructura. La Figura 12 muestra las dimensiones respectivas del ventanal de la Facultad.

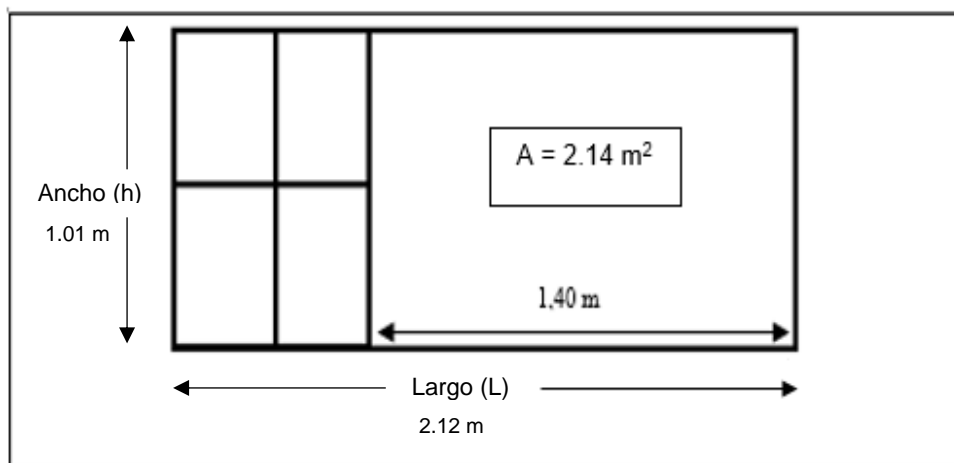


Fig. 12. Área del ventanal del edificio FICA.
Fuente: Autor

Cabe señalar que el área del ventanal que muestra la Figura 12, es un valor de referencia que se tomó en cuenta para seleccionar las dimensiones del panel solar fotovoltaico que más se ajusta a la estructura del ventanal. Además, es necesario aclarar que cada panel fotovoltaico no se va a colocar en toda la estructura del ventanal debido a que dentro de ésta existen tanto ventanas pequeñas como partes metálicas. Por lo que, de toda la estructura únicamente se va a tomar en cuenta la superficie más grande del ventanal para la instalación de los módulos FV, tal como se muestra en la Figura 13.

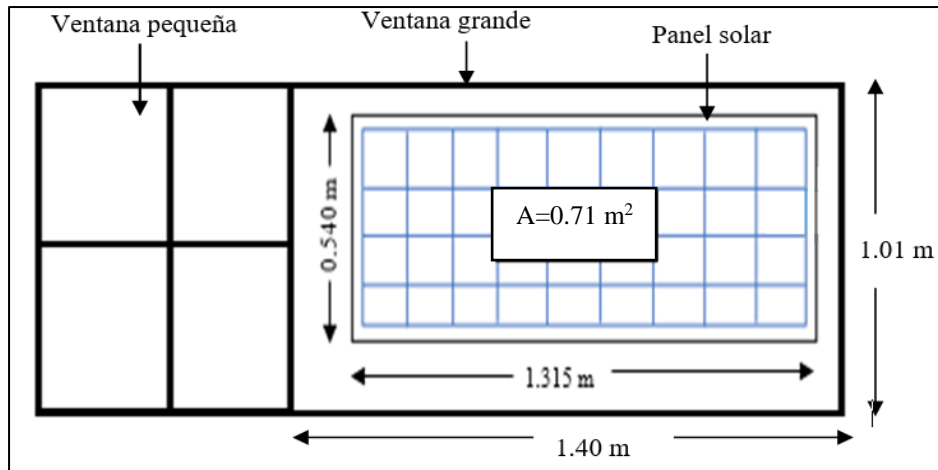


Fig. 13. Dimensiones del panel solar.
Fuente: Autor.

Por tanto, el valor real que se va a utilizar para el cálculo de la superficie total viene a ser el área del panel solar seleccionado que es igual a 0.71 m^2 . Cabe señalar que el panel fotovoltaico seleccionado es de tecnología monocristalina del tipo flexible debido a su eficiencia de conversión y su adaptabilidad a cualquier superficie. Asimismo, este módulo solar de dimensiones de $1.32 \text{ m} \times 0.54 \text{ m}$, cuenta con una potencia máxima de 120 W , un voltaje máximo de 22.1 V y una corriente máxima de trabajo de 5.43 A . Las características más relevantes tanto mecánicas como eléctricas del panel solar seleccionado se muestran en el Anexo A.

Ahora bien, otro aspecto que se consideró para el cálculo de la superficie disponible es la disposición de los ventanales en el edificio FICA, puesto que los módulos fotovoltaicos van a estar instalados en las ventanas de cada fachada de la Facultad con respecto a sus puntos cardinales y con una inclinación de 90° que se ajusta a la línea constructiva de la edificación. Por lo tanto, la fachada principal del edificio que posee una orientación de 125° hacia el este respecto al norte, cuenta con un total de 32 ventanales. Del mismo modo, la fachada posterior que posee una orientación de 310° hacia al oeste con respecto al norte, tiene 28 ventanales. La fachada lateral que tiene una orientación de 43° respecto al norte, cuenta con un total de 8 ventanales de las cuales se tomaron en cuenta 4 debido a la presencia de sombra en los demás ventanales. Por último, la fachada que posee una orientación 228° hacia el sur con respecto al norte, no se tomó en cuenta debido a que junto a esta se encuentra la biblioteca universitaria. Por consiguiente, el número total de ventanales del edificio FICA que se tomaron en cuenta para la instalación de los paneles solares son 64.

Con respecto a lo antes mencionado, la superficie total está dada por el área del panel solar seleccionado y el número de ventanales del edificio en el cual estarán instalados los módulos FV. Cabe señalar que el dimensionamiento de los ventanales se realizó desde el primer piso hasta la terraza de cada una de las fachadas del edificio. En ese sentido, se

procedió a calcular la superficie total en la cual se instalarán los paneles solares aplicando la Ec.(1):

$$S_n = 0.71 \text{ m}^2 * 64$$

$$S_n = 45.45 \text{ m}^2$$

Por tanto, la superficie total neta disponible para la instalación de los paneles solares es 45.45 m². La superficie total por cada fachada del edificio FICA se muestran en la Tabla 15:

TABLA 15
CÁLCULO DE LA SUPERFICIE TOTAL PARA CADO LADO DEL EDIFICIO FICA.

Fachadas del edificio con respecto a sus coordenadas geográficas	Número de ventanales	Superficie del panel solar	Superficie total
Fachada Este	32	0.71 m ²	22.72 m ²
Fachada Norte	4		2.84 m ²
Fachada Oeste	28		19.88 m ²
		TOTAL	45.45 m ²

Fuente: Autor.

Los valores de las superficies mostrados en la Tabla 15, se tomarán en cuenta para el cálculo de la energía irradiada sobre la superficie neta. Por otra parte, es necesario recalcar que el número total de paneles solares que se van a instalar en cada fachada del edificio FICA viene a ser el número de ventanales que se tomaron en cuenta para determinar la superficie total. Por tanto, partiendo de esta consideración resulta lógico establecer que la cantidad de paneles solares que se van a instalar son 64. Es decir, un panel solar por cada ventanal debido a que las dimensiones del panel solar seleccionado se ajustan a la superficie más grande de cada ventanal.

2.4 Análisis del horario solar para la determinación del potencial de producción de energía fotovoltaica

El movimiento aparente del sol tiene un efecto importante en la cantidad de radiación solar que pueda recibir cada fachada del edificio FICA durante todo el día. Esto debido a que la posición del sol con respecto a la Facultad cambia en función del transcurso de las horas del día y la época del año. Cabe señalar que el Ecuador al encontrarse ubicado sobre la lineal ecuatorial (latitud 0°) solamente cuenta con dos estaciones denominadas temporada seca y húmeda, las cuales se repiten dos veces al año. Asimismo, esta ubicación geográfica del Ecuador hace que la duración de los días sea similar durante todo el año, teniendo cada día prácticamente 12 horas diurnas y 12 horas nocturnas (Varela & Ron, 2018).

Por tanto, para conocer la trayectoria solar con respecto a la ubicación geográfica del edificio FICA y analizar la cantidad de radiación solar que recibe cada fachada en función del transcurso de las horas del día, se procedió a modelar el edificio FICA en 3D mediante la utilización del software SketchUp (Ver Anexo A), para posteriormente realizar una simulación en el software Sun-Path de la relación entre la localización geográfica de la FICA (lat: 0.3889 y long: -78.11) y la posición solar con la duración del día y las proyecciones del sol de todo el año (Ver Anexo A1). De esta simulación solar en 3D se observó que el movimiento del sol con respecto a la Facultad se desplaza del punto cardinal noreste al oeste, teniendo que para un día promedio y dependiendo de la época del año, la altitud y azimut del sol respecto al norte varían conforme transcurren las horas del día. Además, para validar con certeza y precisión la ruta solar para la ubicación geográfica de la Facultad, se obtuvo del software Sun Earth Tools una carta solar estereográfica, tal como se muestra en la Figura 14:

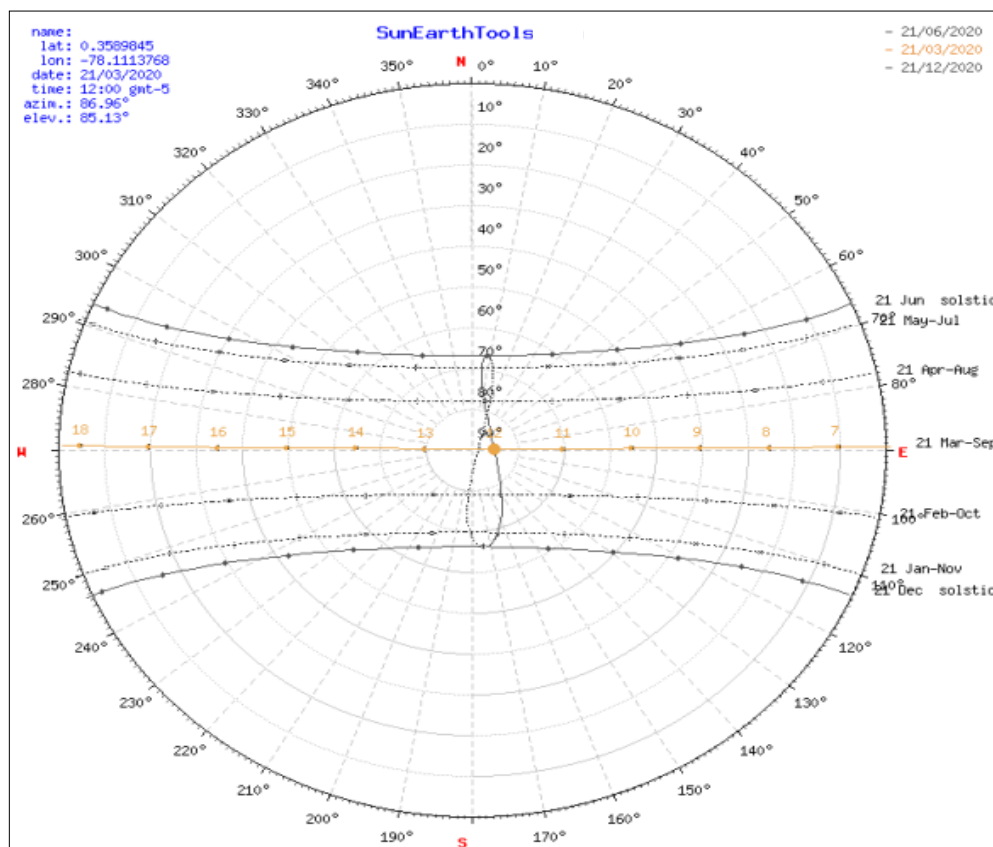


Fig. 14: Carta solar estereográfica con respecto a la latitud del edificio FICA.
Fuente: Autor.

La Figura 14 muestra el sistema de coordenadas que representan la altura solar y el Azimut para la latitud del edificio FICA, donde se puede observar que en el horario entre las 7:00 a.m. hasta las 12:00p.m. el sol se encuentra ubicado al noroeste con un azimut que varía de 83.76° a 40.27° respectivamente, y alcanza una altitud máxima de 80.24° que se da al mediodía, esto permite evidenciar que el sol durante estas horas del días se encuentra incidiendo sobre las fachadas este y norte de la Facultad. Asimismo, se puede interpretar que

en el horario entre las 12:00 p.m. hasta las 18:00 p.m. el sol se encuentra ubicado al oeste con un azimut que varía de 40.27° a -83.74° respectivamente, por lo cual se puede inferir que el sol llega a incidir sobre la fachada que se orienta al oeste durante esta jornada. El horario solar con respecto a cada fachada de la Facultad se muestra en la Tabla 16:

TABLA 16
DETERMINACIÓN DEL HORARIO SOLAR CON RESPECTO A CADA FACHADA DE LA FACULTAD

Fachadas del edificio con respecto a sus coordenadas	Horario	Superficie (m ²)
Fachada Este	07:00 a.m. hasta las 12:00 p.m.	25.56 m ²
Fachada Norte		
Fachada Oeste	12:00p.m. hasta las 18:00 p.m.	19.88 m ²

Fuente: Autor.

Ahora bien, partiendo del análisis del potencial de radiación solar del apartado 2.2, se determinó que los valores medios de irradiación horaria del mes de abril se tomarán en cuenta para la determinación del potencial de producción de energía fotovoltaica. No obstante, con el fin de calcular la energía fotovoltaica en el horario solar establecido en la Tabla 16, se procedió a sumar los valores medios de irradiancia horaria del mes de abril en el horario de la mañana (7:00 a.m. hasta las 12:00 p.m.) y de la tarde (12:00 p.m. hasta las 18:00 p.m.), como resultado se obtuvo los valores de irradiación global acumulada en kWh/m², o dicho de otro modo se obtuvo las horas de sol efectivas (HSE) que recibe al día el edificio FICA en el periodo horario solar correspondiente, tal como se muestra en la Tabla 17:

TABLA 17
VALORES DE IRRADIACIÓN GLOBAL ACUMULADA DEL MES DE ABRIL

Periodo horario	Irradiación Abril kWh/m ² - Hora Solar efectivas
7:00 a.m. hasta las 12:00 p.m.	2.66
12:00 p.m. hasta las 18:00 p.m.	1.56
TOTAL	4.21

Fuente: Autor.

2.5 Determinación de la energía irradiada sobre la superficie total neta

Con base a lo previamente mencionado, la energía irradiada sobre la superficie neta está dada por los valores medios de irradiación global del mes de abril determinados en el horario solar correspondiente y la superficie de cada fachada del edificio FICA con respecto a sus puntos cardinales. En este sentido, se procedió a calcular la energía fotovoltaica aplicando la Ec.(2):

En el periodo horario solar de la mañana:

$$P_{gf} = 2.66 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \times 25.56 \text{ m}^2$$

$$P_{gf} = 68.04 \text{ kWh}$$

En el periodo horario solar de la tarde:

$$P_{gf} = 1.55 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \times 19.88 \text{ m}^2$$

$$P_{gf} = 30.81 \text{ kWh}$$

Entonces, se puede determinar que en el horario entre las 07:00 a.m. hasta la 12:00 p.m. la energía irradiada sobre la superficie orientada al este y norte del edificio FICA es de 68.04 kWh. Mientras que en el horario de 12:00 p.m. hasta las 18:00 p.m. la energía irradiada en la superficie orientada al oeste es de 26.41 kWh. Cabe destacar que la energía que se determinó viene a ser un valor teórico, que da cierta pericia sobre la cantidad de energía fotovoltaica que se puede obtener sobre la superficie neta en la cual se van a instalar los módulos fotovoltaicos.

2.6 Determinación de la producción de energía fotovoltaica

Cabe destacar que el análisis fotovoltaico no se ha realizado en función de las necesidades energéticas del edificio, si no que el diseño está condicionado a conseguir la máxima producción posible. En este sentido, para estimar la producción de energía fotovoltaica se tomó en cuenta dos parámetros; el primero es la potencia instalada fotovoltaica, la cual depende del número de paneles que se van a instalar en la envolvente del edificio FICA y la potencia de salida de cada módulo FV; el segundo se refiere a las horas de sol que inciden sobre cada fachada de la Facultad (Ver Tabla 17).

De tal manera que, con a base a los parámetros establecidos anteriormente se conoce que el número de módulos FV que se van a instalar en la fachada norte, este y oeste del edificio son 32, 4 y 28 respectivamente. Asimismo, se sabe que la irradiación solar incidente durante la mañana y tarde es 2.66 HS y 1.55 HS respectivamente. Por tanto, en función de estos parámetros se procedió a calcular el potencial de producción de energía fotovoltaica aplicando la Ec.(4):

En el periodo horario de la mañana:

$$P_{gf} = 2.66 \text{ HS} \times 36 \times 120 \text{ W}$$

$$P_{gf} = 11,499.84 \text{ Wh/día}$$

En el periodo horario de la tarde:

$$gf = 1.56 \text{ HS} \times 28 \times 120 \text{ W}$$

$$Pgf = 5,208 \text{ Wh/día}$$

Por lo tanto, se puede determinar que en el horario entre las 07:00 a.m. hasta la 12:00 p.m. la energía fotovoltaica que se genera en la superficie orientada al este y norte es de 11,499.84 Wh/día. Mientras que en el horario entre las 12:00 p.m. hasta las 18:00 p.m. la energía que se produce en la superficie orientada al oeste es de 5,208 Wh/día. Por consiguiente, la suma de estos dos valores da como resultado una producción total de generación fotovoltaica de 16,707.84 Wh/día. No obstante, esta energía calculada va a estar limitada debido a que los módulos FV no se van a encontrar ubicados e inclinados óptimamente debido a la estructura vertical de la edificación y la disposición de los ventanales en cada una de las fachadas del edificio FICA. Por tanto, se consideró que las pérdidas de energía por orientación e inclinación para una instalación ubicada a una latitud norte 0.35° y una longitud oeste -78.11° , con una inclinación de paneles solares a 90° , es aproximadamente de 30% a 40% de acuerdo con la Figura 6. Entonces, con base a esta consideración y tomando en cuenta el 40% de pérdidas, la cantidad de energía fotovoltaica que se puede producir diariamente con el generador fotovoltaico instalado en la envolvente del edificio FICA viene a ser 11,795 Wh/día, y anualmente es de 4,268.85 kWh/año. Cabe recalcar que, esta disminución se debe a que los paneles solares fotovoltaicos, durante algunas horas del día, se ven afectadas por una radiación solar no perpendicular, que afectan a la producción de generación fotovoltaica.

2.7 Diseño del generador fotovoltaico

El diseño de los paneles solares fotovoltaicos se realizó con la finalidad de elegir la conexión más conveniente para la instalación, tomando en cuenta varios parámetros como el número de paneles solares a instalar, especificaciones técnicas del módulo FV (voltajes y corrientes de trabajo) y características de otros componentes que componen el sistema fotovoltaico.

En las Figuras 15 y 16 se muestran los dos circuitos para la conexión de los paneles solares fotovoltaicos. El circuito 1, comprende todos los paneles solares que van a estar instalados tanto en la fachada este y en la fachada norte. Mientras que el circuito 2, contempla todos los módulos que se van a encontrar instalados en la fachada oeste. Tanto en el circuito 1 y 2, los paneles solares fotovoltaicos se encuentran conectados en serie y paralelo con la finalidad de obtener un valor de voltaje y corriente adecuado de trabajo, teniendo en cuenta que mediante la conexión en serie el voltaje se suma y la intensidad se mantiene, mientras que en la conexión en paralelo el proceso es de manera contraria. Cabe señalar que para la configuración de los módulos FV, se tomó en cuenta el voltaje de circuito abierto (V_{oc}) y la

corriente de cortocircuito (Isc) del panel solar seleccionado. Además, se está considerando que todos los paneles solares usados son iguales y que cada rama tiene el mismo número de módulos conectados en serie.

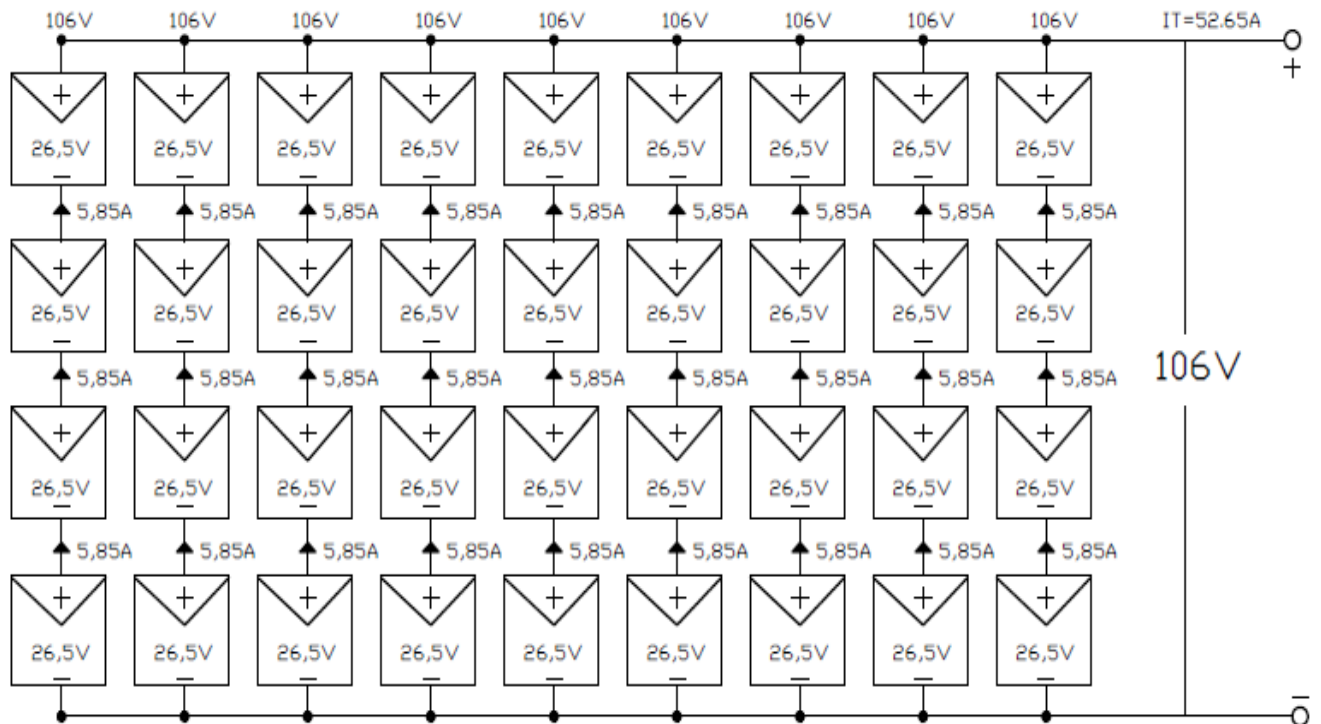


Fig. 15. Configuración de los paneles solares fotovoltaicos de la fachada este y norte de la Facultad.
Fuente: Autor.

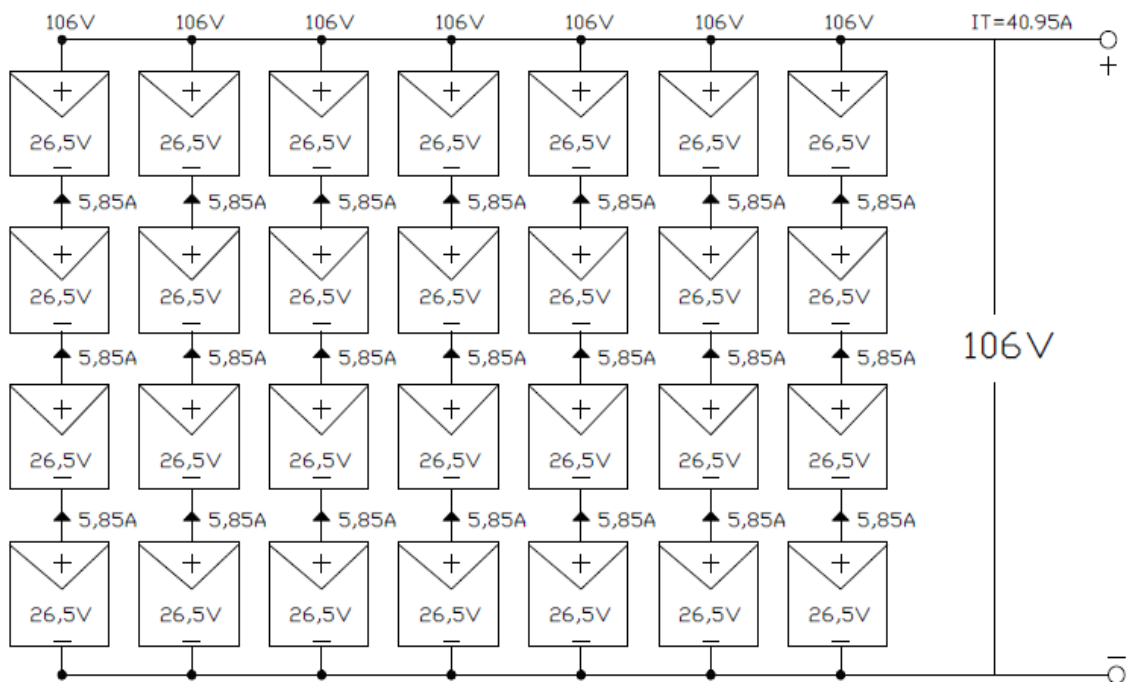


Fig. 16: Configuración de los paneles solares fotovoltaicos de la fachada oeste de la Facultad.
Fuente: Autor.

Como se muestra en la Figura 15 y 16, el circuito 1 cuenta con 9 ramas de 4 paneles solares en serie que da como resultado una potencia instalada fotovoltaica de 4,320 W, un voltaje de 106 V y una corriente de 52.65 A. Mientras que en el circuito 2 se encuentran conectados 7 ramas de 4 paneles en serie, dando como resultado una potencia instalada fotovoltaica de 3,360 W, un voltaje de 106 V y una corriente de 40.95 A.

2.8 Estimación del consumo energético del sistema de iluminación

Con la finalidad de dar una aplicación a la cantidad de energía fotovoltaica que se determinó con la instalación de un generador fotovoltaico en la envolvente del edificio FICA, se procedió a realizar un cálculo teórico sobre el consumo de las cargas de iluminación instaladas en las aulas del edificio FICA. En la Tabla 18 se muestra el número de luminarias existentes en cada una de las aulas y también se detallan los consumos de cada uno de los puntos de iluminación en función de sus horas de utilización y potencia nominal. Asimismo, se muestra la demanda total del sistema de iluminación, la misma fue calculada a partir de la Ec.(5):

TABLA 18
ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA DE LOS LABORATORIOS DEL PRIMER PISO DEL EDIFICIO FICA.

Aulas	Descripción	Cant	Potencia (W)	Horas de uso al día (Hrs/día)	Consumo (kWhrs/d)	Demanda máxima (W)
Ubicación: Planta 1 Edificio FICA						
Aula 101 (Lab. 1)	Tubos fluorescentes	12	20	3	720	240
Aula 102 (Lab. 2)	Tubos fluorescentes	12	20	3	720	240
Aula 103 (Lab. 3)	Tubos fluorescentes	12	20	3	720	240
Aula 104 (Lab. Fibra)	Tubos fluorescentes	8	20	3	480	160
Ubicación: Planta 2 Edificio FICA						
Aula 201	Tubos fluorescentes	12	20	3	720	240
Aula 202	Tubos fluorescentes	12	20	3	720	240
Aula 203 (Lab. MAC)	Tubos fluorescentes	12	20	3	720	240
Aula 202	Tubos fluorescentes	8	20	3	480	160
Aula 205	Tubos fluorescentes	12	20	3	720	240
Laboratorio 3 Programación						
Aula 301	Tubos fluorescentes	12	20	3	720	240
Aula 302	Tubos fluorescentes	12	20	3	720	240

Aula 303	Tubos fluorescentes	12	20	3	720	240
Aula 304	Tubos fluorescentes	8	20	3	480	160
Laboratorio 4 Redes						
Aula 401	Tubos fluorescentes	12	20	3	720	240
Aula 402	Tubos fluorescentes	12	20	3	720	240
Aula 403	Tubos fluorescentes	12	20	3	720	240
Consumo energético TOTAL en kWh/día					10,800 Wh	3,600 W
Consumo energético mensual (22 días) en kWh/mes					237,600 Wh/mes	

Fuente: Autor.

Cabe señalar que se consideró un promedio de 3 horas al día de utilización debido al horario de clases en la Facultad, en el cual, prácticamente las luminarias pasan encendidas de 6:00p.m. a 9:00p.m. de la noche. No obstante, este horario es tentativo y puede variar debido a que en ocasiones algunas aulas no son utilizadas durante estas horas. Por lo tanto, se puede determinar que de la sumatoria de los consumos diarios de cada una de las cargas de iluminación que conforman cada aula del edificio FICA, el consumo de energía diaria total es de 10,800 Wh/día. Si todas las cargas se encendieran en una jornada laboral de 3 horas al día de lunes a viernes se demandaría para un mes promedio 237.6 kWh/mes.

Por tanto, con base al valor estimado de la demanda total del sistema de iluminación de las aulas del edificio FICA, se puede determinar que la cantidad de energía fotovoltaica generada mediante el generador fotovoltaico (11.78 kWh/día) puede ser utilizada para abastecer el circuito de iluminación durante las noches.

Cabe destacar que toda la energía autogenerada va a estar inyectada al circuito de iluminación a través de un sistema fotovoltaico autónomo (SFVA), debido a que este tipo de sistema al disponer de un banco de acumulación almacena la energía generada por los módulos FV, permitiendo proveer el consumo durante las noches o cuando exista un cierto número de días nublados. Por otro lado, no se ha contemplado un sistema con conexión a la red debido a que en este tipo de configuración la energía generada se inyecta directamente a la red por lo que no dispone de baterías de almacenamiento, aunque en muchos casos se están utilizando sistemas fotovoltaicos híbridos que utilizan un banco de baterías de respaldo. Sin embargo, este último resulta más costoso debido a la variedad de componentes que se añaden en su instalación.

2.9 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico autónomo (SFVA)

Por lo expuesto anteriormente, se procedió a dimensionar los principales componentes que conforman una instalación fotovoltaica autónoma. Es necesario señalar que el generador fotovoltaico va a estar instalado en la envolvente del edificio, mientras que los otros equipos tales como el regulador de carga, el inversor y las baterías van a estar situados en el interior del primer piso de la Facultad en un espacio de fácil acceso para la conexión de los componentes y su mantenimiento, y en el que factores como la humedad y el calor no afecten su óptimo funcionamiento.

Para empezar con el dimensionamiento se partió del criterio de que el voltaje del sistema será de 24 V, esto se definió conforme al consumo medio total del circuito de iluminación de las aulas del edificio FICA.

2.9.1 Dimensionamiento de los paneles solares fotovoltaicos

Cabe señalar que los paneles solares fotovoltaicos, fueron dimensionados con base a la disposición de los ventanales del edificio FICA con respecto a sus puntos cardinales (Ver Apartado 2.3), en el cual prácticamente se determinó que el número total de módulos FV a instalar en la envolvente de la Facultad son 64. Teniendo que para el circuito uno se conectaran 9 cadenas de 4 paneles en serie. Mientras que para el circuito dos, su conexión será de 7 cadenas de 4 paneles en serie. Es necesario destacar que todos los paneles seleccionados proporcionarán una potencia de 120 W, con un voltaje nominal de 24 V.

2.9.2 Dimensionamiento del acumulador

El banco de acumulación se dimensionó tomando en cuenta el consumo energético del sistema de iluminación de las aulas de la Facultad, el nivel de voltaje de la batería 12V, la profundidad de descarga recomendado 50% y los días de autonomía que, en este caso, se consideraron tres días en el cual el sistema pueda funcionar sin energía debido a la presencia de nubosidad. Entonces, con base a estos criterios se procedió a calcular la capacidad del acumulador utilizando la Ec.(6):

$$Q_{Ah} = \frac{10,800 \text{ Wh} \times 3}{12 \text{ V} * 0.50}$$
$$Q_{Ah} = 2,700 \text{ Ah}$$

La capacidad del banco de acumuladores es 2,700 Ah, para lo cual se seleccionó 28 baterías con un voltaje de 12 V y una capacidad de 200 Ah cada una. Su conexión será 2 baterías en serie y 14 en paralelo a fin de cumplir con la capacidad total y la tensión nominal del sistema 24 V.

2.9.3 Dimensionamiento del regulador de carga solar

El regulador de carga se dimensionó tomando en cuenta la corriente de cortocircuito de cada panel, el número de ramas en paralelo de la configuración fotovoltaica y un factor de seguridad recomendado 1.25. Como se definió en el circuito 1 y 2, el número de ramas en paralelo son 9 y 6 respectivamente. Asimismo, la corriente de cortocircuito de cada módulo es 5.85 A. Para calcular la corriente del regulador se aplicó la Ec.(7):

Circuito uno

$$I_r = 5.85 \times 9 \times 1.25$$

$$I_r = 58.9 \text{ A}$$

Circuito dos

$$I_r = 5.85 \times 7 \times 1.25$$

$$I_r = 51.19 \text{ A}$$

Entonces, con base a la corriente del regulador (58.9 A y 51.19 A) se seleccionó para cada circuito un regulador de control MPPT de 60 A, con un voltaje nominal de 24 V.

2.9.4 Dimensionamiento del inversor

Para dimensionar la capacidad del inversor, se tomó en cuenta la potencia que demanda la carga, es decir, la sumatoria de todas las potencias nominales de las luminarias que conforman las aulas del edificio FICA. Como se observó en la Tabla 18, la sumatoria de potencias dio como resultado una demanda total de 3,600 W. Con base a esta consideración, se seleccionó un inversor que proporciona una potencia de 4,000 W, un voltaje de salida de 120 VAC $\pm 5\%$ y que trabaja a un voltaje nominal de 24 V.

2.9.5 Dimensionamiento del cableado de corriente continua y alterna

Para el dimensionamiento adecuado del cableado en AWG se tomó en cuenta tres criterios la caída máxima de voltaje admisible, la distancia entre cada uno de los componentes y la capacidad de corriente de los conductores en cada tramo de la instalación. Cabe resaltar que, el cableado circulará en la intemperie sobre la Fachada y llegando hasta el tablero de distribución del SFTVA situado en el primer piso de la Facultad. La trayectoria del cableado en continua será de la siguiente manera; paneles- regulador, regulador- baterías, regulador- inversor. Mientras que el trayecto del cableado en corriente alterna será desde el inversor hasta la caja de distribución, teniendo para este tramo una corriente de 85 A, la misma se obtuvo dividiendo la carga diaria entre el voltaje nominal Ac.

En la Tabla 19 se resume los parámetros antes descritos y el calibre del conductor a utilizarse en los diferentes tramos de la instalación. Asimismo, se puede observar el porcentaje de caídas de voltaje en función de los límites permitidos para cada tramo. Los

resultados de la sección del conductor y la caída de voltaje fueron calculados a partir de la Ec.(9) y Ec.(10). En el anexo B se muestra el desarrollo y los resultados respectivos.

TABLA 19
CAÍDAS DE TENSIÓN DE LOS CONDUCTORES POR CADA TRAMO

Tramos	Distancia a [m]	Número conductores	Corriente [A]	Voltaje [V]	Sección [mm ²]	ΔV %	Limite permitido	AWG
Paneles C1 – Regulador 1	10	2	52.6	24	13.3	2.80	< 3 %	6
Paneles C2 – Regulador 2	13	2	40.95	24	13.3	2.61	< 3 %	6
Regulador- batería	2	2	58.9	24	8.37	0.94	< 1%	6
Regulador- inversor	2	2	58.9	24	8.37	0.94	< 1%	6
Inversor (salida) - carga	2	4	85	120	5.261	1.73	< 5%	10

Fuente: Autor.

En la Tabla 19 se muestra el calibre del conductor para cada tramo de la instalación que fue seleccionado con a base a los cálculos realizados y a catálogos comerciales. Por tanto, dentro del tramo de corriente continua desde los paneles (circuito uno y dos) hasta el disyuntor DC se seleccionó un calibre 6 AWG tipo THHN, ya que al encontrarse a la intemperie debe soportar altas temperaturas y ser resistente a la humedad. Asimismo, para el tramo del regulador a la batería se ha empleado un calibre 6 AWG, esto debido a que al ser la sección de almacenamiento de energía está sujeta a corrientes muy elevadas. En los demás tramos de continua se seleccionó un calibre 8 AWG. Por otra parte, en el tramo de corriente alterna en la salida del inversor se seleccionó un calibre 10 AWG tipo THHN, ya que es recomendado para instalaciones donde se requiere una mayor temperatura ambiente.

2.9.6 Cálculo de las protecciones en la red de continua y alterna

- **Protecciones en la red de continua**

Para calcular las protecciones en el tramo de continua se tomó en cuenta la corriente de generación tanto del circuito uno y dos. Además, se consideró que la protección deba soportar al menos un 125% de la máxima corriente de trabajo. Para calcular su dimensionamiento se utilizó la Ec.(11):

Circuito uno

$$I_{max} = 52.6 \times 1.25$$

$$I_{max} = 58.9A$$

Circuito dos

$$I_{max} = 40.95 \times 1.25$$

$$I_{max} = 51.18A$$

Para el tramo de continua tanto del circuito 1 y 2 se seleccionó dos interruptores termomagnéticos de 63 A cada uno, a fin de protejan la instalación de sobreintensidades y sobretensiones. Estos interruptores van a estar instalados entre el módulo FVT y el regulador de carga solar.

- **Protecciones en la red de alterna**

Para determinar la protección en la red alterna se consideró la potencia máxima de salida del inversor que es de 4,000 W y la tensión a la cual se realizará la conexión 127 V. Además, se tomó en cuenta un factor de potencia igual a la unidad para sistemas fotovoltaicos. Para calcular su óptimo dimensionamiento se utilizó la Ec.(12):

$$I_{max} = \frac{4,000 W}{127} = 31.49 A$$

Para proteger el tramo de la salida de alterna de sobrecargas y sobreintensidades se seleccionó una protección magnetotérmica de 40 A con accionamiento manual. Este dispositivo permitirá separar la instalación fotovoltaica del circuito de iluminación para trabajos de mantenimiento.

2.9.7 Dimensionamiento de la puesta a tierra

La instalación fotovoltaica autónoma dispondrá de una puesta a tierra que unirá las estructuras y los soportes de los paneles solares, del controlador de carga, de las baterías y la carcasa del inversor hasta una varilla de copperweld, que se instalará en el exterior de la Facultad, en un lugar técnicamente adecuado y siguiendo la normativa de acuerdo con el artículo 690-43 del Código Eléctrico Nacional. Para la instalación de la varilla, se utilizará un conductor flexible de un calibre 10 AWG. Además, el electrodo que se seleccionó cuenta con una longitud que le permita ingresar al menos 1.80m por debajo de la superficie del piso y un diámetro de mínimo 1.5cm. Esta varilla va a estar enterrada en un foso de aproximadamente un metro de profundidad y estará rodeada de una sustancia salina especial para mantener baja la resistividad del terreno.

2.9.8 Equipos seleccionados del sistema fotovoltaico autónomo

En la Tabla 20, se resume los equipos seleccionados para el sistema fotovoltaico autónomo (SFTVA), las especificaciones técnicas más relevantes de cada componente se detallan en el Anexo C.

TABLA 20
COMPONENTES SELECCIONADOS PARA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO.

Componente	Especificación
Paneles solares monocristalinos (Ver Anexo A1)	Pico de potencia (WP): 120 Wp Voltaje a Pmax(Vmp): 22.1V Corriente a Pmax(Imp):5.43 A Voltaje de circuito abierto (COV): 26.5 V Corriente de cortocircuito (ISC):5.85 A
Regulador de carga solar MPPT (Ver Anexo A2)	Corriente de carga máxima: 60A Voltaje del sistema: 24 V Voltaje máximo en el terminal: 190 V
Batería de GEL (Ver Anexo A3)	Capacidad nominal: 200 Ah Voltaje nominal: 12V Vida útil: 10 a 12 años a 25°C
Inversor solar de onda sinusoidal pura (Ver Anexo A4)	Potencia nominal: 4000 W Voltaje de entrada: 24 V Voltaje de salida: 110 VAC o 120 VAC $\pm 5\%$ Frecuencia: 60 Hz $\pm 5\%$

Fuente: (Vglory, 2021); (Lumiax, 2021); (Renova-Energía, 2021); (JYINS, 2021)

CAPÍTULO 3

Análisis económico

En el presente capítulo se procede a realizar el análisis económico con base al dimensionamiento del sistema fotovoltaico autónomo. Para ello, se utilizará varios criterios de evaluación de proyectos que permita calcular el costo total de la instalación y el costo nivelado de la energía generado por el sistema fotovoltaico, de tal modo que con estos parámetros se pueda medir la rentabilidad a través de indicadores financieros, tales como la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN).

3.1 Parámetros para evaluar la viabilidad económica del proyecto

La evaluación económica constituye la parte final de un proyecto técnico, en el cual se ve reflejado la aplicación de varios métodos y criterios económicos que contemplan el valor del dinero durante un tiempo proyectado, a fin de evaluar la rentabilidad de la inversión total y el rendimiento de la vida útil del proyecto. Por lo tanto, para la evaluación económica del presente estudio se utilizará varios criterios de evaluación de proyectos para realizar un flujo de caja en función de la inversión total y el costo nivelado de la energía generada por el sistema fotovoltaico, de tal modo que se pueda medir la rentabilidad a través de indicadores financieros, tales como la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN). En este sentido, se procede a definir la metodología y parámetros económicos necesarios para el desarrollo funcional de la evaluación económica.

3.1.1 Costo de la inversión inicial

La inversión inicial, es el capital de riegos inicial de un proyecto, en el cual se incluye el costo total de los equipos necesarios para la instalación, el costo de transporte y el costo por impuestos agregados a los bienes. El costo total de una instalación fotovoltaica puede obtenerse aplicando la Ec.(13) (Herrera, 2016):

$$c_T = C_{PV} + C_{inv} + C_{bat} + C_{reg} + C_{otros} \quad (13)$$

Donde:

c_T : Costo total de la instalación fotovoltaica [\\$]

C_{PV} : Costo total del módulo fotovoltaico [\\$]

C_{inv} : Costo total del inversor [\\$]

C_{bat} : Costo total de la batería [\\$]

C_{reg} : Costo total del regulador [\\$]

C_{otros} : Costo total de otros componentes [\\$]

Para el caso, en el que los productos sean importados se debe considerar los costos por la importación de dichos bienes. Para lo cual, se debe contemplar en el cálculo del costo inicial; los costos por fletes, seguros y despacho de aduana. En el análisis de la importación de los productos para este tipo de estudio pueden considerarse el intercom FOB, que hace referencia al valor de la mercancía puesta a bordo en un transporte marítimo o el intercom CIF, que contempla el valor de la mercancía transportada por un barco, generalmente esto depende del proveedor o del criterio del importador (Herrera, 2016).

Los principales valores que se deben considerar para el pago de los bienes importados son: el Invoice que hace referencia al precio de la mercadería en origen; el Advalorem que se refiere al arancel cobrado de las mercancías; un impuesto al valor agregado (IVA) del 12% a todos los artículos importados y por último se debe contemplar un impuesto del 0.5% a todos los bienes importados y que es administrado por el “Fondo de Desarrollo de la Niñez” (Asesoraduanero, 2018).

3.1.2 Costos por reemplazo

Se refiere a la cantidad de dinero que se deberá desembolsar a fin de reemplazar los equipos al final de su vida útil. Generalmente, los principales componentes que se reemplazan en una instalación fotovoltaica son las baterías, el inversor y el regulador de carga. Estos equipos deben ser reemplazados para un periodo estimado que se especifica en su ficha técnica (Herrera, 2016) .

3.1.3 Costo nivelado de energía (LCOE)

Debido a que se pretende estudiar el impacto económico de la tecnología fotovoltaica para generar electricidad, se utilizará la metodología del costo nivelado. Esta metodología permite cuantificar el costo unitario de la energía (en USD/kWh) generada durante el ciclo de vida del sistema fotovoltaico y posibilita la comparación entre el costo de otras tecnologías. Además, el LCOE es utilizada para determinar el precio mínimo de comercialización de la energía, con el cual se puedan cubrir todos los costos relacionados a la inversión, operación y mantenimiento, por eso es conveniente determinar previamente la tasa de descuento para el proyecto (Herrera, 2016).

La metodología del costo nivelado contempla la energía que producirá el sistema durante su vida útil y la divide entre la sumatoria del costo total de la inversión, considerando la tasa de interés aplicada a la inversión y el flujo de efectivo durante un tiempo proyectado. Ante este contexto, el cálculo del Costo Nivelado de Energía (LCOE) puede calcularse aplicando la Ec.(14) (Agustin, Sautto , Montaña , & Bouza, 2015):

$$LEC = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}} \quad (14)$$

Donde:

I_t : gastos de la inversión el año t.

M_t : gastos de operación y mantenimiento

E_t : Energía generada

r : tasa de descuento

t : tiempo de vida útil del sistema.

El resultado final (el LCOE) puede modificarse en función de las variables mencionadas; inversión inicial, electricidad generada y una tasa de descuento mínima.

3.1.4 Tasa de descuento

La tasa de descuento es otro de los parámetros importantes a tomar en cuenta a la hora de aplicar una determinada metodología para evaluar la factibilidad del proyecto. Esta tasa indica cuánto vale ahora el dinero que recibiremos en una fecha posterior, es decir, es el coste de capital que se aplica para determinar el valor presente de un pago futuro (Vázquez, 2019).

El proceso para determinar la tasa de descuento del proyecto dependerá de los criterios que utilice el proyectista y las tasas promedios que se manejen en el mercado. Generalmente los países desarrollados proceden a aplicar tasas bajas que varían en el rango del 3 % al 7%. Mientras que los países en desarrollo aplican tasas altas que van entre el 7 % y el 15%, aunque en muchos casos estas tasas se han reducido notablemente en los últimos años. El LCOE a nivel de proyecto se calcula con una tasa promedio ponderado real del 7.5% para los países que conforma la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y China y del 10% para el resto del mundo (IRENA, 2020). Sin embargo, también se puede utilizar como base tasas de descuento referenciales del país. En el caso del Ecuador la tasa de descuento referencial es del 8.68 y es administrada por el Banco Central del Ecuador (BCE, 2021).

3.1.5 Costos anuales por operación y mantenimiento

Los costos por operación y mantenimiento de la instalación fotovoltaica dependen directamente del proyectista, y se refiere a todas las actividades asociadas al mantenimiento,

conservación y limpieza de los principales componentes tales como: paneles solares, inversores, baterías e instalaciones eléctricas. Generalmente el plan de mantenimiento para un sistema fotovoltaico se realiza conforme lo especifique los fabricantes de los equipos. (Herrera, 2016)

3.1.6 Flujos de caja

Para medir la rentabilidad a través de los indicadores financieros, es necesario definir los flujos de caja. Los flujos de caja o flujos de efectivo muestran los ingresos y los egresos reales de dinero que tiene un proyecto durante un tiempo determinado. El flujo 0 corresponde a las inversiones iniciales del proyecto y a partir del flujo 1, se consideran todos los ingresos y egresos que el proyecto vaya generando. Entonces, el flujo de caja tiene como propósito determinar la liquidez del proyecto a una proyección de largo plazo, mediante el registro de los egresos que no generan flujo de dinero y los ingresos que si generan dinero (Cardona, 2017).

3.1.7 Valor actual neto (VAN)

El Valor Actual Neto (VAN) o valor presente neto (VPN), es un indicador financiero que resulta de la resta de la inversión inicial y la suma de los flujos que se actualizan a través de una tasa de descuento apropiada para los flujos futuros. Para evaluar un proyecto de inversión con base en el VPN, se deben de considerar que; si el VPN es mayor a 0, el proyecto es rentable. Si el VPN es igual, la decisión es del inversionista, pero si el VPN es menor a 0 el proyecto no se acepta. Para su cálculo se utiliza la Ec.(15) (Fajardo, Girón, Vásquez, & Fajardo, 2019):

$$VAN = \sum_{t=0}^N \frac{Q_n}{(1 + TD)^t} - I_0 \quad (15)$$

Donde:

N : es el número de periodos

Q_n : es el flujo de caja en el periodo N

TD : es la tasa de descuento

I_0 : es la inversión inicial

3.1.8 Tasa interna de retorno (TIR)

Se define como la tasa de interés que hace que el Valor Actual Neto sea igual a 0. Es decir, es la tasa que iguala la suma de los flujos descontados a la inversión inicial. El criterio

que se toma en cuenta para tomar la decisión en función de la TIR es: Si la TIR es mayor que la tasa de descuento (TD) el proyecto se acepta, pero si la TIR es menor a la TD el proyecto se rechaza. Para el cálculo de la TIR se utiliza la Ec.(16) (Fajardo, Girón, Vásquez, & Fajardo, 2019):

$$VAN = \sum_{t=0}^N \frac{Q_n}{(1 + TD)^t} - I_0 = 0 \quad (16)$$

Donde:

N : es el número de periodos

Q_n : es el flujo de caja en el periodo N

I_0 : es la inversión inicial

3.1.9 Periodo de recuperación de la inversión inicial

El periodo de recuperación de la inversión inicial (PRI), permite encontrar el número de años que se requieren para recuperar la inversión inicial. Para su cálculo se emplea la Ec.(17) (RAMÓN , 2020):

$$PIR = a + \left(\frac{b}{c}\right) \quad (17)$$

Donde:

a = Periodo del último Flujo negativo

b = Valor Absoluto del último Flujo Negativo

c = Valor del Flujo Siguiete

3.2 Análisis económico

Una vez definidos los componentes principales de la instalación fotovoltaica autónoma en el capítulo anterior, se procede a realizar los cálculos oportunos para evaluar la rentabilidad del proyecto con base a la metodología económica expuesta previamente.

3.2.1 Determinación del costo total del sistema fotovoltaico autónomo (SFA)

En la Tabla 21 se detallan los costos de los equipos que fueron seleccionados para la instalación fotovoltaica autónoma. Los costos de los paneles solares, el inversor y el regulador de carga solar fueron tomados de la plataforma internacional Alibaba en dólares, debido a que en el país no se produce u ofertan una variedad amplia de componentes fotovoltaicos como los requeridos para este estudio. Mientras que en la plataforma Alibaba existen un gran número de proveedores que ofrecen una amplia gama de productos fotovoltaicos a costos

bastante bajos, que se exportan directamente desde China. Por otra parte, el costo unitario de las baterías fue tomado de una cotización realizada de la tienda online Renova Energía en Ecuador. Las cotizaciones respectivas para cada componente se detallan en el Anexo D.

TABLA 21
COSTO INICIAL DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.

Cantidad	Componente	Precio por unidad (USD)	Valor total (USD)
64	Paneles solares monocristalino del tipo flexible	USD 129.00	USD 8,256.00
2	Regulador de carga solar MPPT	USD 192.00	USD 384.00
28	Batería de GEL	USD 350.00	USD 9,800.00
1	Inversor solar de onda sinusoidal pura	USD 253.70	USD 253.70
2	Breakers Riel CSC 3P 63 A	USD 8.32	USD 16.64
1	Breakers Riel Din 1 Polo 40 A	USD 8.10	USD 8.10
1	Varilla Copperweld 5/8 x 1,80 mtrs+ conector Copperweld 5/8	USD 12.74	USD 12.74
1	Conjunto eléctrico (Cable #6 THHN, platina de cobre, aisladores, etc)	USD 180.00	USD 180.00
Costo inicial del sistema fotovoltaico autónomo			USD 18,911.18

Fuente: Autor

La Tabla 21 muestra el costo inicial de la instalación fotovoltaica que tiene un valor de USD 18,911.18. En esta cantidad están incluidos los costos aproximados de las protecciones y el conjunto eléctrico asociadas a la instalación. Cabe destacar que en este costo inicial no se están incluyendo los costos por importación de los productos desde China, sino que se están tomando los valores de origen, es decir, los precios que oferta el proveedor para su país de natal.

Ahora bien, para determinar el costo total de la importación de los productos se tomó en cuenta tres consideraciones: el precio del producto en origen, los costes de transporte y seguro, y los aranceles e impuestos aduaneros. Además, para el análisis del costo de la importación de los equipos requeridos se tomó en cuenta el intercom FOB, debido a que esta es la manera más barata de importar los productos desde Asia. Cabe señalar que con este término comercial FOB, el importador debe encargarse de los costos de la mercancía, transporte marítimo y despacho de aduana (e-comex, 2017) .

En la Tabla 22 se detalla el costo total de la importación en función del análisis comercial FOB, en la cual se definió el costo de los productos que se van a importar (Paneles solares, regulador e inversor), el costo del transporte marítimo, equivalente a USD 2,880.00. Este valor se determinó con base a una cotización realizada en la plataforma digital icontainers, en el cual se ingresó la distancia del vendedor (China), peso y las dimensiones de los productos (Ver anexo E5). Para el análisis del costo por concepto de seguro de transporte se tomó como un valor presuntivo el 1% del valor total de la mercancía de acuerdo con el Artículo 76 del reglamento del título de la facilitación aduanera para el comercio. Asimismo, se tomó un impuesto al valor agregado del 12% administrado por el Servicio de Rentas Internas SRI (SENAE, 2011). Para definir el valor del arancel se procedió a realizar el análisis de clasificación arancelaria en la página del Servicio nacional de Aduana del Ecuador, en el cual, se establece una tarifa arancelaria de 0 % para los componentes fotovoltaicos mencionados (COMEX, 2012).

TABLA 22
DETERMINACIÓN DEL COSTO FOB.

Item	Descripción	Referencia	Productos			Costo TOTAL (USD)
Valor del FOB						
Costo inicial del sistema	El precio del producto en origen	Equipo	Paneles solares	Regulador	Inversor	8,893.70
		Cantidad	64	2	1	
		Costo total (USD)	USD 8,256.00	USD 384.00	USD 253.70	
Flete	Valor del transporte marítimo	Peso kg	134.4 kg	13kg	10 kg	2,880.00
		Dimensiones CBM	13.66	4.05	0.1331	
Seguro de transporte	valor de la prima	Porcentaje	1%			88.93
Pago de tributos por un producto importado						
AD-VALOREM (Arancel Cobrado a las Mercancías)	Porcentaje variable sobre el valor FOB, según el tipo de mercancía.	Cod. Arancelario	N/d	N/d	N/d	0
FODINFA (Fondo de Desarrollo para la Infancia)	Administrado por el INFA. 0.5% del valor FOB	Porcentaje	0.50%			59.31

IVA (Impuesto al Valor Agregado)	SRI. 12% de la suma de: FOB + ADVALOREM + FODINFA.	Porcentaje	12%	1,430.63
Costo total de la importación (USD)				13,352.57
Costo total de la instalación fotovoltaica autónoma (USD)				23,370.00

Fuente: Autor

Como se muestra en la Tabla 22, el costo total de la importación es de USD 13,352.57 y el costo total de la instalación fotovoltaica autónoma, incluido los costos de importación y el costo total de los productos nacionales es de USD 23,370.00.

3.2.2 Costos de sustitución

La Tabla 23 presenta un cuadro estándar sobre los costos de sustitución en función de la vida útil de los componentes fotovoltaicos y la cantidad de veces que se reemplazarían durante la utilidad del sistema, que en este caso se ha estimado un periodo de 25 años. Cabe destacar que se asumió que el precio de los componentes al momento de sustituirlos será igual al precio inicial.

TABLA 23
COSTOS DE SUSTITUCIÓN

Cantidad	Componente	Tiempo de vida útil (años)	Número de sustituciones	Costo total (USD)
64	Paneles solares	25	0	-
2	Regulador de carga e inversor	15	1	USD 901.08
28	Batería	12	1	USD 9,800.00

Fuente: Autor

Para estimar el costo de reemplazo para los productos importados USD 901.08 se utilizó nuevamente el análisis comercial FOB mostrado en la Tabla 22. No obstante, para este caso el precio del transporte marítimo, seguro y despacho de aduana reduciría debido a que solo se importarían el regulador y el inversor (Ver Anexo E).

3.2.3 Cálculo del costo nivelado de energía (LCOE)

Antes de realizar el cálculo del costo nivelado de energía (LCOE) basado en el flujo de caja financiero, se definieron los parámetros económicos y técnicos mostrados en la Tabla 24. En la cual, se tomó como base una tasa de descuento referencial del 7% administrada por el Banco central del Ecuador. No obstante, a fin de conocer el LCOE para distintos escenarios se tomó también una tasa de descuento que varía de 3% a 9% en intervalos de 2%. Asimismo, se contempló para los cálculos un tiempo de utilidad del proyecto de 25 años;

este valor se determinó con base a la vida útil del panel solar especificado en su ficha técnica. Dentro del análisis económico se consideró que el costo anual por operación y mantenimiento tiene un valor estimado de USD 0 dólares, debido a que las tareas de mantenimiento y operación pueden ser realizadas por el personal técnico de la Universidad.

Además, como se determinó dentro del análisis técnico la energía generada anualmente por el generador fotovoltaico es de 4,268.85 kWh/año. A esta cantidad generada se le incluyó una tasa de degradación media anual del panel solar del 5%, contemplado con base al rendimiento promedio al terminar la vida útil del módulo, especificado en su ficha técnica.

TABLA 24
PARÁMETROS INICIALES PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD ECONÓMICA DEL SISTEMA.

Parámetros generales	Valor
Tasa de descuento (i)	3 a 8.68%
Periodo de inversión (años)	25 años
Costo total del sistema (USD)	USD 23,370.00
Costos por reemplazo regulador e inversor (USD)	USD 901.08
Costos por reemplazo batería (USD)	USD 9,800.00
Costo de operación y mantenimiento (USD\$)	USD 0
Generación de energía anual (kWh/año)	4,268.85 kWh/año
Tasa de degradación de los paneles (%)	5%

Fuente: Autor

Basándose en la metodología expuesta en el apartado 3.1 y en los parámetros económicos mostrados en la Tabla 24, se ha calculado el costo nivelado de energía para diferentes tasas de descuento aplicando la Ec.(14). Los resultados del LCOE se muestran en la Figura 17. El desarrollo y procedimiento respectivo se detallan en el Anexo D1.

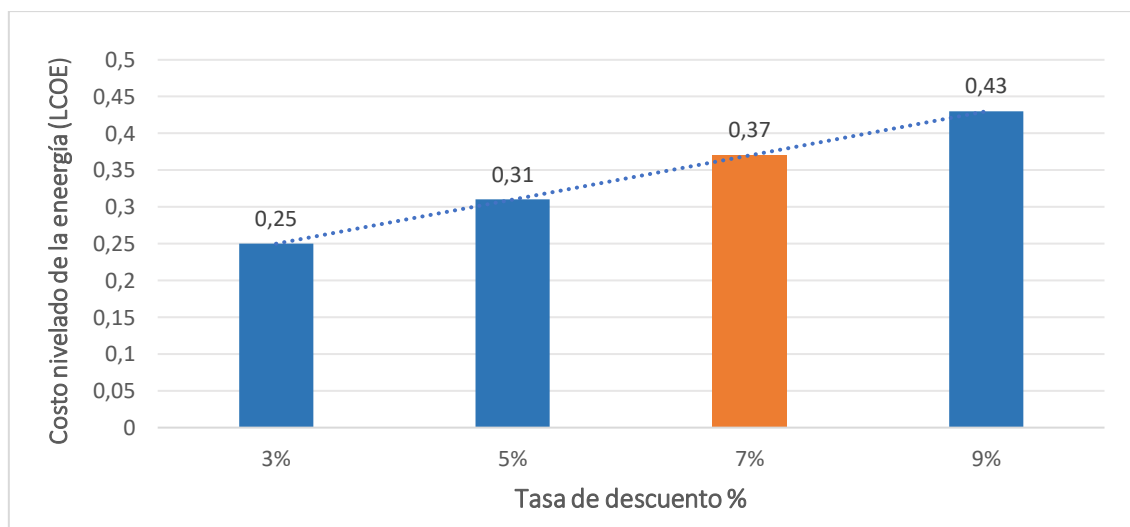


Fig. 17. Cálculo del costo nivelado de la energía (LCOE) para diferentes tasas de descuento
Fuente: Autor.

La Figura 17 muestra el costo nivelado de la energía a diferentes tasas de descuento, en el cual se puede observar que conforme esta aumenta, el costo nivelado de la energía es mayor. Cabe señalar que la tasa de descuento es un valor que cambia a lo largo del año, por lo que es conveniente realizar el análisis con diferentes valores. Por lo tanto, como se puede apreciar en el mejor escenario, con una tasa de descuento mínima del 3% se tiene un costo de 0.25 USD/kWh. Para una tasa de descuento de 5 y 7% el LCOE son 0.31 USD/kWh y 0.37 USD/kWh respectivamente. Para la tasa de descuento más alta que corresponde al 9% el costo nivelado de energía es 0.43 USD/kWh.

Según “The International Renewable Energy Agency” (IRENA), indica que el LCOE promedio ponderado global de los sistemas fotovoltaicos residenciales ha presentado significativas reducciones. Suponiendo que con una tasa de descuento promedio del 7.5% para países que conforman La Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), el LCOE de los sistemas fotovoltaicos disminuyó de USD 0.45 / kWh en 2010 a 0.26 USD / kWh en 2019, una disminución del 79% (IRENA, 2020). La Figura 18 muestra el costo nivelado de energía (LCOE) promedio para sistema fotovoltaicos residenciales por país respectivamente.

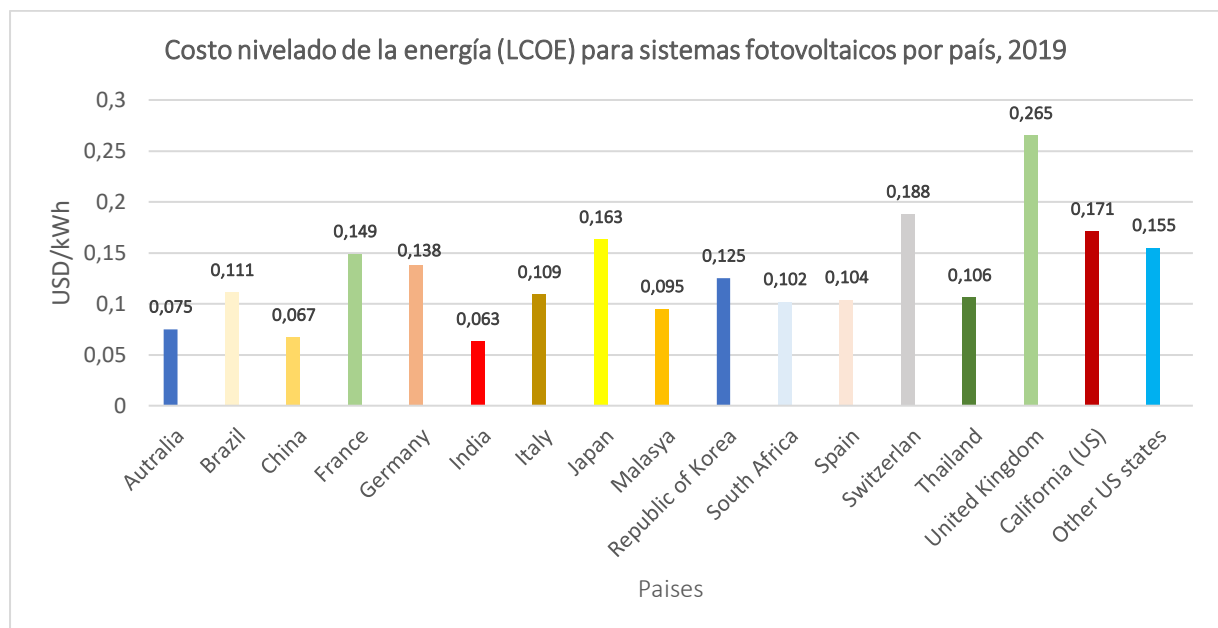


Fig. 18: Costo nivelado de energía (LCOE) promedio para sistema fotovoltaicos residenciales por país respectivamente para el 2019. Fuente: (IRENA, 2020)

La Figura 18 muestra el costo nivelado de energía (LCOE) promedio para sistemas fotovoltaicos, evaluados a una tasa de descuento promedio del 7.5%. En el cual se puede observar que India cuenta con el LCOE más competitivo seguido de China y España, con valores de 0.067 USD/kWh y 0.104 USD/kWh respectivamente. No obstante, en países como Suecia y Reino Unido los valores del LCOE son altos a comparación de los demás países, con valores de 0.26 USD/kWh y 0.18 USD/kWh.

Estos valores internacionales comparados con el costo de energía calculado 0.37 USD/kWh que se muestra en la Fig. 17 son relativamente bajos, esto se debe a tres razones; la primera razón es que un bajo costo nivelado de la energía fotovoltaica depende en gran medida del módico costo de los componentes del sistema (correspondiendo el costo más alto a los paneles solares); para lo cual, al disponer los países desarrollados de precios bajos para la adquisición de los módulos y otros quipos asociadas a la instalación de estos sistemas FV, los valores del LCOE tenderán a ser más bajos. Mientras que para el presente estudio el costo de la instalación fotovoltaica tiende a ser alto, debido a los costos agregados por la importación de los productos requeridos. La segunda razón, se le atribuye a que en estos países desarrollados manejan una tasa de descuento bastante baja en el rango del 3 a 7%, en comparación a las tasas de descuento que se maneja en el Ecuador u otros países de Sudamérica (del 7 a 13%). En resumen, se puede determinar que el costo nivelado de energía 0.37 USD/kWh es alto en comparación a las tarifas internacionales debido a los altos costos de importación de los productos requeridos para la aplicación.

Para analizar la rentabilidad basado en el flujo de caja se tomó en cuenta el valor medio del LCOE calculado, que corresponde a 0.37 USD/kWh del costo por kilowatt FV instalado, evaluado a una tasa de descuento del 7%.

3.2.4 Cálculo del flujo de caja

Una vez definido el costo nivelado de energía y tomando como base los parámetros económicos mostrados en la Tabla 24, se procedió a realizar de manera gráfica el flujo de caja para dos tipos de escenarios a fin de conocer el comportamiento de la rentabilidad conseguida del proyecto. En el escenario 1 se contempla el análisis del flujo de caja sin considerar los costos por reemplazo. Mientras que para el escenario 2 si se tomarán en cuentas estos costos.

- **Análisis de flujo de caja sin costos por reemplazo (Escenario 1)**

La Figura 19 muestra los resultados del flujo de caja generados bajos lo requerimientos determinados anteriormente; donde se puede apreciar en el año 0 el costo total de la instalación fotovoltaico. A partir del año 1, se contemplan todos los ingresos que se van generando en función de la energía producida anualmente 4,268.85 kWh/año y el costo de energía 0.37 USD/kWh. Cabe recalcar que a la energía producida anualmente se le aplicó una tasa de degradación del módulo del 0.5%. El desarrollo de la estructura de los flujos de cajas se puede observar en el Anexo E.

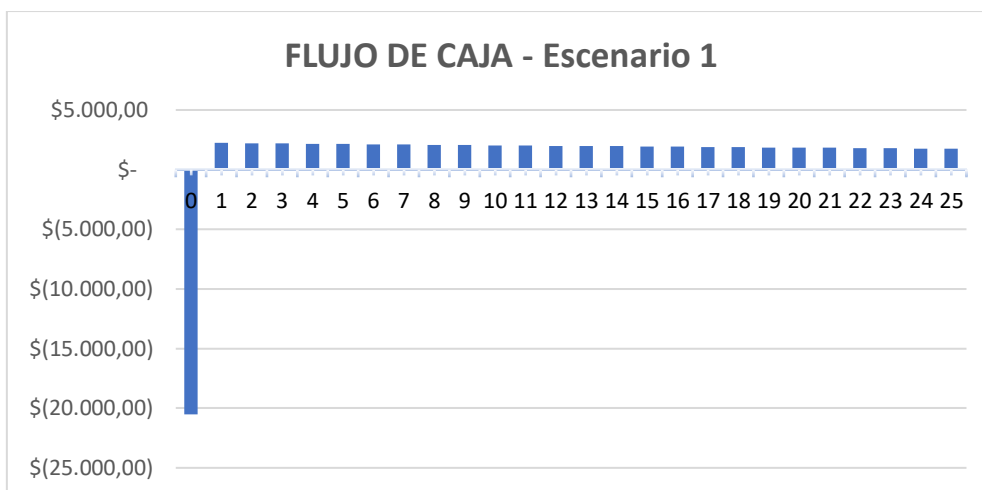


Fig. 19: Análisis del flujo de caja para el escenario uno
Fuente: Autor

Los resultados de los flujos de caja muestran con exactitud los ingresos y egresos que presenta el proyecto durante los 25 años. En el cual, se puede determinar que con un costo de energía de 0.37 USD/kWh y una tasa de interés del 7% el análisis de flujo de caja refleja resultados positivos a excepción del año 0 que contempla la inversión inicial del proyecto, lo que permite establecer una factibilidad rentable desde el punto de vista económico del proyecto que se va a implementar.

- **Análisis de flujo de caja con costos por reemplazo (Escenario 2)**

La Figura 20 muestra los resultados del flujo de caja generados bajo los costos de reemplazo, inversión inicial y el costo nivelado de energía.

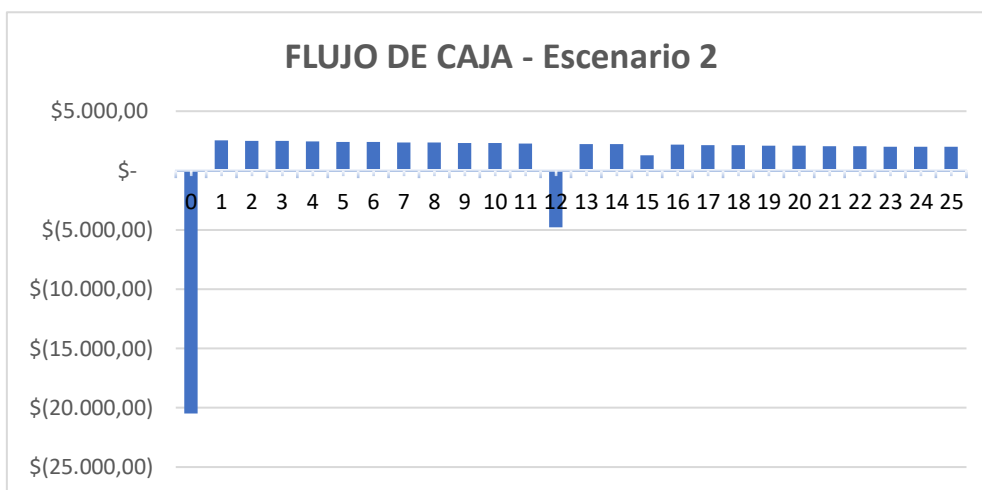


Fig. 20: Análisis del flujo de caja para el escenario dos
Fuente: Autor

Para este caso en particular en el cual se consideran los costos por reemplazos, se puede determinar que con un costo de energía de 0.37 USD/kWh y una tasa de interés del 7% el

análisis de flujo de caja refleja resultados no tan alentadores debido a que los costos agregados por reemplazos impactan negativamente en el año 12, lo que permite inferir una rentabilidad poco factible para el proyecto.

3.2.5 Cálculo de los indicadores financieros

Una vez conocido el flujo de caja para los dos escenarios, se procedió a calcular el valor actual neto y la tasa interna de retorno de los flujos netos de efectivo que se proyectaron durante los 25 años, tomando como base la tasa de descuento del 7% y la inversión inicial. Para facilitar los cálculos se utilizó la herramienta Excel y mediante la aplicación de la Ec.(15) y Ec.(16) se obtuvieron los resultados del VAN y el TIR mostrados en la Tabla 25.

TABLA 25
CÁLCULO DEL VAN Y DE LA TIR

Indicador económico	Escenario 1	Escenario 2	
		0.37 USD/kWh	0.42 USD/kWh
LCOE	0.37 USD/kWh	0.37 USD/kWh	0.42 USD/kWh
VAN	USD 38.60	USD – 2,463.91	USD 23.45
TIR	7%	5%	7%

Fuente: Autor

De los resultados obtenidos del flujo de caja del proyecto se muestra que para el escenario uno, en el cual no se contemplan los costos por reemplazo, el VAN es igual a USD 38.60 y la TIR es 7%. Por lo tanto, con base a los criterios de evaluación, el proyecto es viable económicamente ya que el VAN es mayor a 1 y la TIR es igual que la tasa de descuento referencial del 7%, lo que resulta rentable invertir en el proyecto en estas condiciones y por tal razón debería ser aceptado. Además, se evidencia que el costo de la energía generada por el sistema 0.37 USD/kWh, aunque es un poco alto a comparación de los costos de energía internacionales, brinda un punto de equilibrio para el proyecto, permitiendo recuperar la inversión inicial.

Para el caso del escenario dos, los resultados del VAN USD -2,463.92 y la TIR 5% no son viables ya que el VAN es negativo y la TIR es menor que la tasa de descuento referencial, lo que evidencia que el costo de la energía generada por el sistema 0.37 USD/kWh en estas condiciones no es rentable económicamente. No obstante, se puede observar que al aumentar el costo nivelado de energía a 0.42 USD/kWh las condiciones viables del proyecto cambian positivamente debido a que brinda un punto de equilibrio para el proyecto, permitiendo recuperar la inversión inicial y los costos por reemplazos.

3.2.6 Cálculo del periodo de recuperación de la inversión

En la Figura 21 se muestra el resultado del periodo de recuperación de la inversión inicial (PIR) para la implementación del sistema fotovoltaico autónomo, donde se contempló los flujos de caja acumulados evaluados a 0.37 USD/kWh. El cálculo y el procedimiento respectivo se muestra en el Anexo E6.

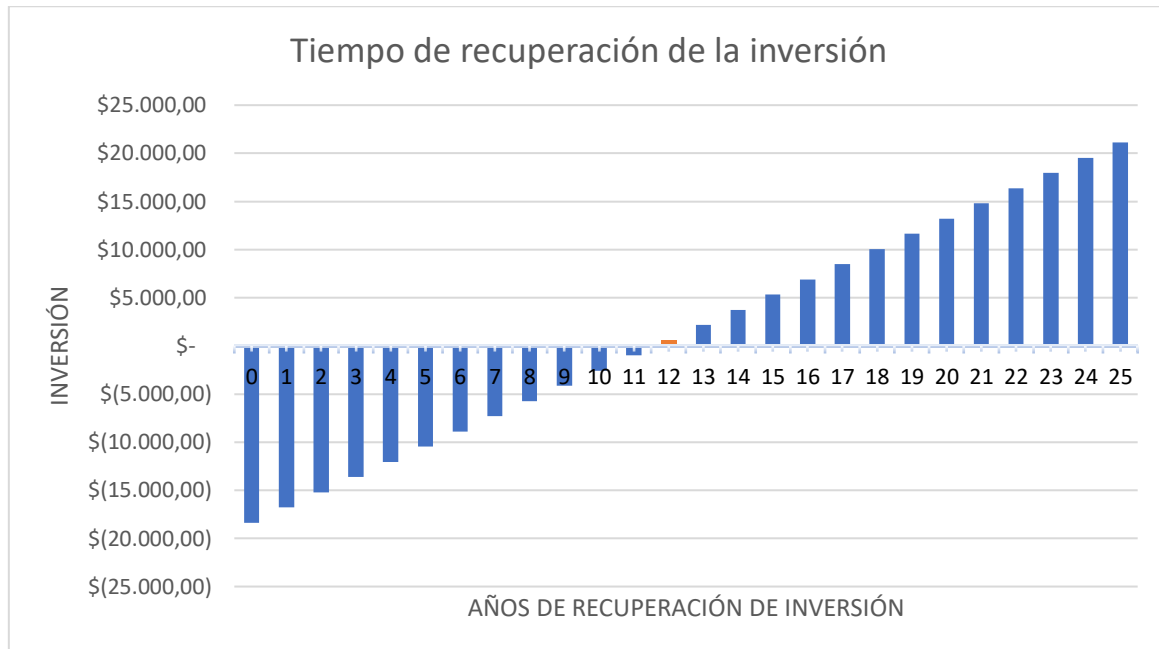


Fig. 21: Periodo de recuperación de la inversión total.
Fuente: Autor

Con base a los resultados se estima que en 12 años y 4 meses se recupere la inversión total realizada, lo cual representa un beneficio económico y un tiempo prudente para el retorno de la inversión en estas condiciones.

3.2.7 Resultados del análisis económico

Se puede determinar que para el escenario uno los resultados evidencian la viabilidad del proyecto, al evaluar este con una tasa del 7%, ya que se obtiene un VAN positivo que indica que es viable con el costo inicial del proyecto. Además, este análisis es reafirmado por la TIR, al alcanzar un valor del 7%. Por lo tanto, la rentabilidad se ve muy alentadora para este escenario en el cual no se contemplan los costos por reemplazo. Por el contrario, para el escenario dos los resultados demuestran que la viabilidad del proyecto se obtiene si este es evaluado a un costo nivelado de energía de 0.42 USD/kWh. Sin embargo, estos precios no son tan aceptables ya que el objetivo es que el costo de generación sea lo más económico posible para la aceptación del proyecto. Es necesario destacar que, aunque el análisis económico se realizó con base al dimensionamiento de un sistema fotovoltaico autónomo diseñado exclusivamente para la alimentación de las luminarias, la cantidad de producción

de energía fotovoltaica que se calculó (11,78 kWh/día) podría ser destinada para otros fines como la alimentación de los laboratorios de informática del edificio FICA.

Ahora bien, como se puede evidenciar en la Tabla 21 el impacto económico que tiene el subsistema de acumulación en el costo total de la instalación fotovoltaica autónoma (SFTVA) es alto, correspondiente a un 51,82 %. No obstante, una alternativa más económica que podría aminorar significativamente el costo excesivo por almacenamiento se trata de la implementación de un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFVCR), ya que según la Regulación Nro. ARCONEL 003/18 menciona que la energía generada por este tipo de configuración puede ser inyectada a la red eléctrica y que en el caso de que está sea menor a la energía consumida se realizará la compensación con la misma red, permitiendo de esta manera una reducción del consumo de la red de distribución, y por ende una disminución en el pago de la energía eléctrica facturada. Entonces, bajo este contexto se podría implementar un SFCVR compuesto por el generador fotovoltaico que se ha diseñado en el presente estudio y para el caso del inversor, se seleccionarían dos inversores trifásicos de 5 kW, debido a que la potencia fotovoltaica instalada tanto en el circuito 1 y 2 es 4,320 W y 4,360 W respectivamente. Además, este tipo de inversor va a tener incluido un sistema de sincronización para asegurar la correcta conexión y sincronismo a la red eléctrica. El valor económico que se estimó de los dos inversores trifásicos se encuentra alrededor de USD 1,803.79, incluido los costos de la importación del producto (Ver Anexo F).

En resumen, el proyecto es factible si evaluamos el VAN y la TIR con un costo nivelado de 0.37 USD/kWh, ya que permite recuperar la inversión inicial a partir del año 12, pero no podría ser tan aceptado debido al elevado costo de energía causado por el alto costo inicial de la instalación fotovoltaica autónoma. Sin embargo, se podría abaratar estos costos mediante la implementación de un sistema fotovoltaico conectado a la red, ya que, en este tipo de sistema la energía se inyecta directamente a la red y en el caso de que la energía consumida sea mayor la compensación se realiza con la misma, causando una disminución en el pago de la planilla eléctrica e influyendo notablemente en la rentabilidad del proyecto.

Por otra parte, desde el punto de vista técnico el presente proyecto es factible, porque la cantidad de producción de energía diaria generada por el generador fotovoltaico instalado en la envolvente del edificio es bastante aceptable y puede ser utilizada para varias aplicaciones en la Facultad. Además, el diseño está dimensionado con estimaciones reales sobre el potencial fotovoltaico que incide sobre la zona de estudio y especificaciones técnicas detallados del módulo fotovoltaico que debería ser utilizado, que dan seguridad y fiabilidad al sistema fotovoltaico.

Conclusiones

- Mediante el estudio efectuado sobre las distintas tecnologías fotovoltaicas para la generación de energía eléctrica, se determinó que la tecnología monocristalina del tipo flexible es la mejor opción para la aplicación requerida, debido a su alta eficiencia de conversión del 15 al 18%, su gran durabilidad bajo condiciones atmosféricas y a su adaptabilidad al contorno de cualquier superficie. Por otra parte, se estimó que el potencial solar de una zona geográfica y la producción de energía fotovoltaica pueden ser determinados mediante la evaluación y cuantificación de los niveles radiación solar, tomando en cuenta varios parámetros como la posición del sol con respecto a un punto de la superficie, ángulos solares y otros factores que intervienen en su análisis.
- De acuerdo con el análisis del recurso solar, se determinó que los niveles de radiación solar que inciden sobre el edificio FICA se encuentran dentro del rango de 4.21 a 4.75 kWh/m² con un promedio de 4.53 kWh/m². Estos valores al ser validados con respecto al Atlas Solar del Ecuador permitieron evidenciar que el potencial fotovoltaico en la Facultad es bastante alto y aprovechable para la implementación de sistemas fotovoltaicos. Además, se demostró que el potencial de producción de energía fotovoltaica que se podría obtener mediante la implementación de un generador fotovoltaico conformado por 64 módulos de 120 W instalados en las fachadas este, norte y oeste del edificio es 11,795 Wh/día. Esta cantidad generada se estimó que puede ser utilizada para alimentar el consumo energético del sistema de iluminación de las aulas de la Facultad, mediante un sistema fotovoltaico autónomo.
- Tras el estudio de factibilidad económica, se determinó que la ejecución del proyecto es viable económicamente para el primer escenario puesto que el VAN es positivo y la TIR es mayor que la tasa de descuento, lo que evidencia que el proyecto debería ser aceptado al evaluar este a un costo de 0.37 USD/kWh. Por otro lado, se demostró que para el segundo escenario la viabilidad del proyecto se obtiene si este es evaluado a un costo nivelado de energía de 0.42 USD/kWh. Por tanto, se concluye que los costos nivelados de energía 0.37 USD/kWh y 0.42 USD/kWh, brindan un punto de equilibrio para el proyecto, permitiendo recuperar la inversión inicial durante el ciclo de vida útil del sistema. Sin embargo, son precios altos en comparación a las tarifas internacionales, debido a los altos costos por importación de los productos fotovoltaicos y al costo elevado por almacenamiento.

Recomendaciones

- En estudios futuros se podría implementar sistemas de generación híbrida, puesto que en este caso la configuración, el dimensionamiento de los componentes y el costo total de la instalación sería diferente a la instalación presentada en este estudio.
- En estudios futuros se podría analizar el impacto que tienen los seguidores solares fijados sobre la terraza de la Facultad, debido a que se podría aprovechar de mejor manera la energía proveniente del sol y no estaría limitada a pérdidas por orientación e inclinación.

Referencias

- Herrera, S. (2016). METODOLOGÍA PARA DETERMINAR EL PRECIO DE COMERCIALIZACIÓN DE LA ENERGÍA PRODUCIDA POR UNA CENTRAL FOTOVOLTAICA CONECTADA A LA RED. *METODOLOGÍA PARA DETERMINAR EL PRECIO DE COMERCIALIZACIÓN DE LA ENERGÍA PRODUCIDA POR UNA CENTRAL FOTOVOLTAICA CONECTADA A LA RED*. UNIVERSIDAD DE CUENCA, Cuenca. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/24341/1/Tesis.pdf>
- Li, S., Lu, Y., Kua, H., & Chang, R. (2019). The Economy of Green Buildings: A Life Cycle Cost Analysis of Non-residential Buildings in Tropic Climates. *Journal Pre-proof Volume 252*, 1- 44. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119771>
- Marzá , Á., Encinar, C., Lledó, I., & Sesé, J. (2015). *Integración Arquitectónica de Paneles Fotovoltáicos*. Universidad Jaime I, Integración Arquitectónica de Paneles Fotovoltáicos. Obtenido de <https://www.fisica.uji.es/priv/web%20master%20SIH007/temes/treballs/2%20Solucions%20Arquitectoniques%20b.pdf>
- Mascarós, M. V. (2016). *Gestión del montaje de instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid: Ediciones Paraninfo, S.A.
- Muñoz, J. P., Rojas, M. V., & Barreto, C. R. (2018). Incentive pertaining to energy the. *Ingenius: Revista de Ciencia y Tecnología*, 60-68.
- Pavón Vallejos , W. (2017). Standalone photovoltaic system, using a single stage boost DC/AC power inverter controlled by a double loop control. *2017 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference - Latin America (ISGT Latin America)*, 1-6. doi:10.1109/ISGT-LA.2017.8126705
- Roy, J. (2017). Solar Photovoltaic Technology. *Sustainable Energy Technology and Policies*, 21-56.
- Scarabelot, L., Rambo, C., & Rampinelli, G. (2018). A relative power-based adaptive hybrid model for DC/AC average inverter efficiency of photovoltaics systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews Volume 92*, 470-477. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.099>
- TaÇJoLlu, A., TaGkJn, O., & Vardar, A. (2016). A Power Case Study for Monocrystalline and Polycrystalline Solar Panels in Bursa City, Turkey. *International Journal of Photoenergy Volume 2016*, 1-7. doi:<https://www.hindawi.com/journals/ijp/2016/7324138/>
- ¡Containers. (2021). *iContainers*. Obtenido de <https://n9.cl/l2opp>
- Acevedo, A., Bernal, R., Montes, J., & Morales, A. (2017). Design of thin film solar cells based on a unified simple analytical model. *Journal of applied research and technology Volume 15(6)*, 599-608. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jart.2017.08.002>
- Aguirre L., Á., Hernández B., D., Ordoñez A., L., & Martínez O., L. (2016). *Comparison of energy conversion efficiencies in monocrystalline, polycrystalline and amorphous silicon photovoltaic cells for meteorologic measurements in Cali*. Cali: Red Colombiana de Metrología.
- Agustin, S., Sautto , J., Montañó , A., & Bouza, C. (2015). ESTIMACIÓN DEL COSTO NIVELADO POR GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN AEROGENERADORES: EVIDENCIA EMPÍRICA DE MÉXICO. *EXPERIENCIAS EN LA MODELACIÓN DE LA TOMA DE DECISIONES EN LA SALUD HUMANA, MEDIO*, Tomo 1 pp 147-160. Obtenido de http://rideca.cs.buap.mx/files/articulo_DQkwhKfYoWltyBo.pdf
- Alibaba. (2021). *Batería de gel de 24v, batería solar de 1000Ah para sistema de energía trasera* . Obtenido de <https://n9.cl/v8qo>

- Alvarado, A. (2014). ANÁLISIS, DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA SUMINISTRO ELÉCTRICO EN APOYO A PROGRAMA NUTRICIONAL EN ESCUELA RURAL EL CARDONAL, TIBANÁ (BOYACÁ) - COLOMBIA. *ANÁLISIS, DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA SUMINISTRO ELÉCTRICO EN APOYO A PROGRAMA NUTRICIONAL EN ESCUELA RURAL EL CARDONAL, TIBANÁ (BOYACÁ) - COLOMBIA*. Universidad Libre, Bogotá. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/225836311.pdf>
- ARCONEL. (2018). *REGULACIÓN No. ARCONEL-003/18*. Ecuador.
- Asesoraduanero. (2018). *Asesoría Legal en Trámites Aduaneros - Ecuador*. Obtenido de Importar y Exportar: <http://www.asesoraduanero.com/importar-y-exportar.html>
- Asokan, S., & Patil, T. (2016). A Proficient Solar Panel Efficiency Measurement System: Using Current Measurements. *Internacional conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)*, 1-6. doi:10.1109/CESYS.2016.7889927
- AutoCAD. (2020). *AutoCAD Electrical*. Obtenido de AutoCAD Electrical: <https://n9.cl/ih30>
- Ballesteros-Ballesteros, V. (2016). World panorama of renewable energy and importance of photovoltaic energy. *Revista Científica*, 3(26), 194-203.
- BCE. (2021). *Tasas de interés*. Obtenido de <https://www.bce.fin.ec/index.php/component/k2/item/148-tasas-de-inter%C3%A9s>
- Benlebna, S., Manoj Kumar, N., & Tahri, A. (2018). Data acquisition system: On the solar photovoltaic module and weather parameters monitoring. *Procedia Computer Science Volume 132*, 873-879. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.05.099>
- Bera, B. (2016). Recent Advances In Piezoelectric Nano generators In Energy Harvesting Applications. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR)*, 2(7), 4-5. Obtenido de <https://n9.cl/kyz4>
- Cabeza, I. O., & Cuicaíta, O. G. (2017). Tendencias en ingeniería de materiales para la fabricación de células solares fotovoltaicas. *Ingeniería Solidaria*, vol. 13, n.o 23, 151-162. doi:<https://doi.org/10.16925/in.v13i23.2070>
- CAPAenergy.com. (2020). *REGULADOR SOLAR MPPT SRNE 48V 60A*. Obtenido de REGULADOR SOLAR MPPT SRNE 48V 60A: <https://www.capaenergy.com/es/mppt/39-regulador-solar-mppt-srne-48v-60a.html>
- Cardona, A. (2017). EL FLUJO DE CAJA COMO HERRAMIENTA GERENCIAL PARA EL CONTROL FINANCIERO. *EL FLUJO DE CAJA COMO HERRAMIENTA GERENCIAL PARA EL CONTROL FINANCIERO*. UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA, BOGOTÁ. Obtenido de <https://n9.cl/zb5i0>
- Cheng, L., Zhang, F., Li, S., Mao, J., Xu, H., Ju, W., . . . Li, M. (2020). Solar energy potential of urban buildings in 10 cities of China. *Energy Volume 196*, 2-16. doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117038>
- Chicaiza Chacha, J. H., & Quisaguano Escobar, O. F. (2018). Estudio técnico del consumo de energía eléctrica en el edificio El Rey para la implementación de energía renovable. *Estudio técnico del consumo de energía eléctrica en el edificio El Rey para la implementación de energía renovable*. Universidad de Cuenca, Cuenca. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/31336>
- Chwieduk, D., Chenari, B., Dias, J., & Gameiro, M. (2016). Towards sustainable, energy-efficient and healthy ventilation strategies in buildings: A review Volume 59. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1426-1447.

- ClickRenovables. (2015). *Cómo calcular una instalación solar fotovoltaica en 5 pasos*. Obtenido de ClickRenovables: <https://clickrenovables.com/blog/como-calcular-una-instalacion-solar-fotovoltaica-en-5-pasos/>
- Coloma, C., & Sisler, F. (2017). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR EN EL LABORATORIO DE ENERGÍA RENOVABLE DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, PARA EL ESTUDIO DE LOS REGÍMENES DE CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA RENOVABLE. *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR EN EL LABORATORIO DE ENERGÍA RENOVABLE DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, PARA EL ESTUDIO DE LOS REGÍMENES DE CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA RENOVABLE*. Universidad Técnica De Cotopaxi, Latacunga. Obtenido de <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/4468/4/PI-000584.pdf>
- Coloma, C., & Sisler, F. (2017). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR EN EL LABORATORIO DE ENERGÍA RENOVABLE DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, PARA EL ESTUDIO DE LOS REGÍMENES DE CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA RENOVABLE. *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR EN EL LABORATORIO DE ENERGÍA RENOVABLE DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, PARA EL ESTUDIO DE LOS REGÍMENES DE CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA RENOVABLE*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, Latacunga. doi:<http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/4468>
- COMEX. (2012). *RESOLUCION No. 59 COMITÉ DE COMERCIO EXTERIOR*. Obtenido de <https://n9.cl/1cubg>
- CONELEC. (2008). *ATLAS SOLAR DEL ECUADOR*. Obtenido de <http://energia.org.ec/cie/wp-content/uploads/2017/09/AtlasSolar.pdf>
- CONELEC. (2012). *Regulación No. CONELEC-004/11*. Ecuador.
- CONSTITUCIÓN. (2008). *CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR*. Ecuador.
- Cruceira, E. (2019). Implementación de un sistema de generación solar fotovoltaica con integración a la red eléctrica en el edificio de la carrera de ingeniería eléctrica de la Universidad Técnica del Norte. *Implementación de un sistema de generación solar fotovoltaica con integración a la red eléctrica en el edificio de la carrera de ingeniería eléctrica de la Universidad Técnica del Norte*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra. Obtenido de <https://n9.cl/frizx>
- de Montero, J. (2016). *Arquitectura y energía fotovoltaica*.
- Díaz López, C., Carpio, M., Martín Morales, M., & Zamorano, M. (2019). Analysis of the scientific evolution of sustainable building assessment. *Sustainable Cities and Society*, 1-13. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101610>
- Dwaikat, L. N., & Ali, K. N. (2016). Green buildings cost premium: A review of empirical evidence. *Energy and Buildings Volume 110*, 396-403.
- ECOFENER. (2018). *¿Qué potencia puede producir un panel solar?* Obtenido de ecofener: <https://ecofener.com/blog/potencia-puede-producir-panel-solar/>
- e-comex. (2017). *Importación costos y valores*. Obtenido de <https://www.e-comex.com/costos-de-una-importacion/>
- ELECTROCABLES. (2021). *Catálogo de productos*. Obtenido de Catálogo de productos: <https://www.electrocable.com/uploads/catficha/cata-logo-electrocables-2018.pdf>
- Elghamry, R., Hassan, H., & Hawwash, A. (2020). A parametric study on the impact of integrating solar cell panel at building envelope on its power, energy consumption, comfort conditions, and CO2

- emissions. *Journal of Cleaner Production* Volume 249, 2-15. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119374>.
- Fajardo, L., Girón, M., Vásquez, C., & Fajardo, L. (2019). VALOR ACTUAL NETO Y TASA INTERNA DE RETORNO COMO PARÁMETROS DE EVALUACIÓN DE LAS INVERSIONES. *Revista investigación operacional*, 469-474. Obtenido de <https://rev-inv-ope.univ-paris1.fr/fileadmin/rev-inv-ope/files/40419/40419-05.pdf>
- Garzón, D., & Martínez, J. (2017). *Estudio de factibilidad para la implementación de energía solar fotovoltaica en la zona preescolar del Colgeio Agustiniiano Suba*. UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS, Bogotá. Obtenido de <https://n9.cl/r86a4>
- Goh, B. H., & Sun, Y. (2016). The development of life-cycle costing for buildings. *Building Research & Information*, 44(3), 319-333. doi:10.1080 / 09613218.2014.993566
- GreenMetric, U. (2019). *guideline UI GreenMetric World University Rankings 2019 Sustainable university in a changing world:lessons, challenges and opportunities*. Indonesia.
- Guerrero, R. (2019). *Replanteo y funcionamiento de instalaciones solares fotovoltaicas*. ENAE0108. IC Editorial: Málaga.
- Han, S., Lee, J., Lin, J., & Ho, J. (2019). Piezo/triboelectric nanogenerators based on 2-dimensional layeredstructure materials. *Nano Energy*, 57(12), 2. doi:<https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2018.12.081>.
- Hassaine, L., & Bengourina, M. (2019). Control technique for single phase inverter photovoltaic system connected to the grid. *Energy Reports*, 1-8. doi:10.1016/j.egy.2019.10.038.
- Hernández Gallegos, R. (2017). ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA LIMPIA MEDIANTE CELDAS FOTOVOLTAICAS PARA LA ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA DEL EDIFICIO 4 EN EL ITS LV. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA LIMPIA MEDIANTE CELDAS FOTOVOLTAICAS PARA LA ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA DEL EDIFICIO 4 EN EL ITS LV. Instituto Tecnológico Superior de La Venta, VILLAHERMOSA. Obtenido de <https://bit.ly/379wdeZ>
- IRENA. (2019). *Renewable Energy Statistics* . Abu Dhabi.
- IRENA. (2020). Renewable power generation costs in 2019. *International Renewable Energy Agency*, 60-70. Obtenido de file:///C:/Users/USER/Downloads/IRENA_Power_Generation_Costs_2019.pdf
- Jarauta, L. (2015). *Las energías renovables*. Barcelona: Editorial UOC.
- JYINS. (2021). *4000W 12V/24V/48V DC a AC 110V/120V/220V/230V/240V Inversor de Energía Solar*. Obtenido de <https://n9.cl/mnevj>
- Kannan, N., & Vakeesan, D. (2016). Solar energy for future world: - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1093-1103.
- Kouro, S., Leon, J. I., Vinnikov, D., & Franquelo, L. G. (2015). Grid-Connected Photovoltaic Systems: An Overview of Recent Research and Emerging PV Converter Technology. *IEEE Industrial Electronics Magazine* Volume 9, 47-61. doi:10.1109/MIE.2014.2376976.
- Li, Y., He, C., Lyu, Y., Song, G., & Wu, B. (2019). Crack detection in monocrystalline silicon solar cells using air-coupled ultrasonic lamb waves. *NDT & E International* Volume 102, 129-136. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2018.11.020>
- Lin, Z. (2019). On the first principle theory of nanogenerators from Maxwell's equations. *Nano Energy*, 1(1), 3-4. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2019.104272>

- Lumiax. (2021). *12v 24v 48v dc a la ca 110v 230v solar de onda sinusoidal pura inversor de potencia de 3000 vatios*. Obtenido de <https://n9.cl/9q0xa>
- Lumiax. (2021). *60A MPPT 12V / 24V / 48V controlador de carga solar automático Bluetooth pantalla LCD RS485*. Obtenido de <https://n9.cl/a2ps0>
- Martínez Rubio, A. (2016). *Energía solar integrada a la edificación: modelizado y análisis del efecto del sombreado en la captación de irradiación*. Universidad de La Rioja.
- MEC. (2021). *Baterías De Gel Agm De 12v 200 Ah Amp,solar,ups Incluye Iva*. Obtenido de <https://n9.cl/ffjq>
- Molina García, M., & Melchor Hernández, C. (2016). Prototipo de un Sistema Fotovoltaico Autónomo. *Revista de Aplicaciones de la Ingeniería Volume 3(8)*, 9-18. Obtenido de <https://bit.ly/2SedRoT>
- Núñez, E. (2015). VALORACIÓN DEL CAMPUS ACADÉMICO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE UBICADO EN LA AV. 17 DE JULIO – IBARRA. *DÉMICO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE UBICADO EN LA AV. 17 DE JULIO – IBARRA*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, Ibarra. Obtenido de [file:///C:/Users/USER/Downloads/03%20AGN%20013%20TRABAJO%20GRADO%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/USER/Downloads/03%20AGN%20013%20TRABAJO%20GRADO%20(1).pdf)
- Olaleru, S. A., Kirui, J. K., Wamwangi, D., Roro, K. T., & Mwakikunga, B. (2020). Perovskite solar cells: The new epoch in photovoltaics. *Solar Energy Volume 196*, 295-309. doi:<https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.12.025>
- OneCore. (2018). *¿QUÉ ES EL VALOR FOB?* Obtenido de <https://n9.cl/tj27>
- Ormeño, E. (2019). Ibarra.
- Pearsall, N. (2017). *The Performance of Photovoltaic (PV) Systems Modelling, Measurement and Assessment*. woodhead publishing.
- Peña, A., & Pérez, D. (2016). ANÁLISIS DE LA RADIACIÓN SOLAR PARA DETERMINAR UN SISTEMA FOTOVOLTAICO QUE PERMITA ABASTECER LA DEMANDA ELÉCTRICA DE LA COMUNA WAMAC URCO, PARROQUIA TARQUI, PROVINCIA DE PASTAZA. *ANÁLISIS DE LA RADIACIÓN SOLAR PARA DETERMINAR UN SISTEMA FOTOVOLTAICO QUE PERMITA ABASTECER LA DEMANDA ELÉCTRICA DE LA COMUNA WAMAC URCO, PARROQUIA TARQUI, PROVINCIA DE PASTAZA*. UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI, Latacunga. doi:<http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/3650>
- planeta, C. e. (2018). *Energías renovables*. España: línea verde.
- Potes , P. (2019). *DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED EN EL BLOQUE B DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, Latacunga. Obtenido de <file:///C:/Users/USER/Downloads/PI-001326.pdf>
- ProViento. (2021). *Bateria 150Ah/12VDC GEL de Ciclo Profundo SBB*. Obtenido de <https://n9.cl/0gm1z>
- Rajput, S. (2017). *SOLAR ENERGY - Fundamentals, Economic and Energy Analysis*. Rajnagar: NITRA.
- RAMÓN , R. (2020). GUÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL PRESUPUESTO DE CAPITAL MEDIANTE EL USO DE LAS TÉCNICAS VAN - TIR - PRI. *GUÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL PRESUPUESTO DE CAPITAL MEDIANTE EL USO DE LAS TÉCNICAS VAN - TIR - PRI*. Universidad Técnica de Machala, Machala. Obtenido de <https://n9.cl/jxofq>
- Renova-Energía. (2021). *Batería Aokly 12V 200AH, 200Ah@20h 6GFM200G GEL*. Obtenido de <https://www.renova-energia.com/productos/bateria-aokly-12v-200ah-200ah20h-6gfm200g/>
- Requena, B. (2015). *ÁREA DE UN RECTÁNGULO*. Obtenido de Universo de fórmulas: <https://www.universoformulas.com/matematicas/geometria/area-rectangulo/>

- Rodas, Á., & Árevalo, C. (2016). *DIMENSIONAMIENTO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA CONECTADA A LA RED, PARA AUTOCONSUMO EN UN TALLER INDUSTRIAL EN GUAYAQUIL*. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL, Guayaquil.
- Safyanu, B. D., Abdullah, M. N., & Omar, Z. (2019). Review of Power Device for Solar-Powered Aircraft Applications. *Journal of Aerospace Technology and Management Volume 11*, 1-16. doi:<http://dx.doi.org/10.5028/jatm.v11.1077>
- Salvador, A., & Llanes, E. (2017). Diseño de un sistema fotovoltaico aislado: Caso de estudio casa de campo en Tulipe-Pichincha, Ecuador. *Diseño de un sistema fotovoltaico aislado: Caso de estudio casa de campo en Tulipe-Pichincha, Ecuador*. Universidad Internacional SEK, Quito. Obtenido de <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2101>
- Sánchez de Armas, R., & Gutiérrez Beltrán, E. (2015). Nanotecnología inspirada en la naturaleza: celdas solares sensibilizadas con colorante. *ENCUENTROS EN LA BIOLOGIA (ISSN-8496)*.
- Sánchez, L. (2016). *ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE UN PANEL FOTOVOLTAICO FIJO Y MÓVIL DE 50W POLICRISTALINO Y SU INCIDENCIA EN LA CAPTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR EN LA CIUDAD DE AMBATO*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, Ambato. Obtenido de <https://bit.ly/3oLU3ac>
- Schuetze, T., Willkomm, W., & Roos, M. (2015). Development of a holistic evaluation system for BIPV façades. *Energies Volume 8*, 6135–6152. doi:<https://www.mdpi.com/1996-1073/8/6/6135>
- SENAE. (2011). *REGLAMENTO AL TÍTULO DE LA FACILITACIÓN ADUANERA PARA EL COMERCIO, DEL LIBRO V DEL CÓDIGO ORGÁNICO*. Obtenido de <https://n9.cl/tojq>
- Senplades. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Toda una Vida*. Ecuador.
- Serrano, J. C. (2016). *Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid: Ediciones Paraninfo, SA.
- Shaikh, P., Mohd Nor, N. B., Nallagownden, P., Elamvazuthi, I., & Ibrahim, T. (2014). A review on optimized control systems for building energy and comfort management of smart sustainable buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 409-429.
- Shukla, A. K., Sudhakara, K., Baredar, P., & Mamat, R. (2018). BIPV based sustainable building in South Asian countries. *Solar Energy Volume 170*, 1162-1170. doi:<https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.06.026>
- Solano, M. (2015). *ESTADO ACTUAL DE LA ENERGÍA*. Ecuador.
- Solar, E. (2020). *Sunny Boy 9000-11000TL-US*. Obtenido de Sunny Boy 9000-11000TL-US: <https://n9.cl/wjs0q>
- Sopeña, A. (2019). *DISEÑO INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 10 MWP EN CUERVA (TOLEDO)*. Universidad del País Vasco, Bilbao. Obtenido de <https://n9.cl/6yf4>
- Starodub, L. (2018). *LABORATORIOS DE INFORMÁTICA*. Obtenido de http://www.utn.edu.ec/fica/carreras/automotriz/wp-content/uploads/2013/05/informaci%C3%93n_lab_1-9_fica_2018_blog.pdf
- TaiEnergy. (2020). *Batería De Gel 250AH*. Obtenido de Batería De Gel 250AH: <https://www.taienergy.cn/Battery/Gel%20Battery/gel-battery-250ah>
- Tam, V. W., Senaratne, S., Le, K. N., Shen, L. Y., Perica, J., & Illankoon, I. (2017). Life-cycle cost analysis of green-building implementation using timber applications. *Journal of Cleaner Production Volume 147*, 458-469. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.128>

- Tang, Z. W., Ng, S. T., & Skitmore, M. (2019). Influence of procurement systems to the success of sustainable buildings. *Journal of Cleaner Production*, 1007-1030. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.213>
- Tobajas Vázquez, C. (2018). *Energía solar fotovoltaica*. Cano Pina.
- Tobajas, C. (2017). *Energía solar térmica para instaladores (5a. ed.)*. S.L. EDICIONES CEYSA. CANO PINA.
- Tobajas, C. (2018). *Energía solar fotovoltaica*. Cano Pina, S.L.
- Tobajas, M. (2014). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Barcelona: Cano Pina. doi:<https://elibro.net/es/ereader/utnorte/43053>
- Torres, S., Jurado, F., Granados, D., & Lozano, A. (2018). Eficiencia en paneles solares. *Revista del Diseño Innovativo Volume 2(2)*, 9-21. Obtenido de <https://bit.ly/3bzzEz0>
- Umbarila Valencia, L. P., Alfonso Moreno, F. L., & Rivera Rodríguez, J. C. (2015). Importance of renewable energies in the energy security and its relationship with economic growth. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 231-242.
- UNEF. (2018). *El desarrollo actual de la energía solar fotovoltaica en España*. Tobarra. Madrid: Unión Española Fotovoltaica (UNEF).
- Vaca, D., & Ordóñez, F. (2020). Mapa Solar del Ecuador 2019. *RESEARCH IN ALTERNATIVE ENERGY*, 3-27. Obtenido de <https://www.ingenieriaverde.org/2020/01/28/atlas-solar-del-ecuador-2019/>
- Varela, L., & Ron, S. (2018). *Geografía y Clima del Ecuador*. Obtenido de BIOWEB. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.: <https://bioweb.bio/faunaweb/amphibiaweb/GeografiaClima/>
- Vargas B., J. P., & Navia A., G. (2015). DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA LA CAPTURA Y MEDICIÓN EXPERIMENTAL DE LA EFICIENCIA Y CURVA CARACTERÍSTICA I-V EN TIEMPO REAL DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO UTILIZANDO LABVIEW® Y ARDUINO. *Investigación & Desarrollo Volume 1 no.15*, 49-64. Obtenido de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2518-44312015000100006&lng=es&nrm=iso
- Vasconcelos Sampaio, V. S., & Aguirre González, M. O. (2017). Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews Volume 74*, 590-601. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.081>
- Vázquez, R. (2019). *Economipedia*. Obtenido de Tasa de descuento: <https://n9.cl/fvigr>
- Vglory. (2021). *00w 120w 150w 180w 200w Etf Semi China alta eficiencia Marina Pv Sunpower Panel Solar Flexible*. Obtenido de <https://n9.cl/w318q>
- Wang , H., Moreda, G., Muñoz, M., & García, M. (2018). Optimum inverter sizing of grid-connected photovoltaic systems based on energetic and economic considerations. *Renewable Energy Volume 118*, 709-717. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.11.063>
- Wang, Z. L. (2014). Triboelectric nanogenerators as newenergy technology and self-powered sensors—Principles, problems and perspectives. *ASC NANO*, 7(11), 5-10. doi: 10.1021/nn404614z
- WccSolar. (2020). *Pluseenergy Solar*. Obtenido de Pluseenergy Solar: <https://www.wccsolar.es/paneles-solares/>
- Yao, M., Fan, M., Hu, D., & Liu, M. (2018). Strategies to achieve high performance piezoelectric nanogenerators. *Nano Energy*, 5(12), 11-12. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2018.10.053>

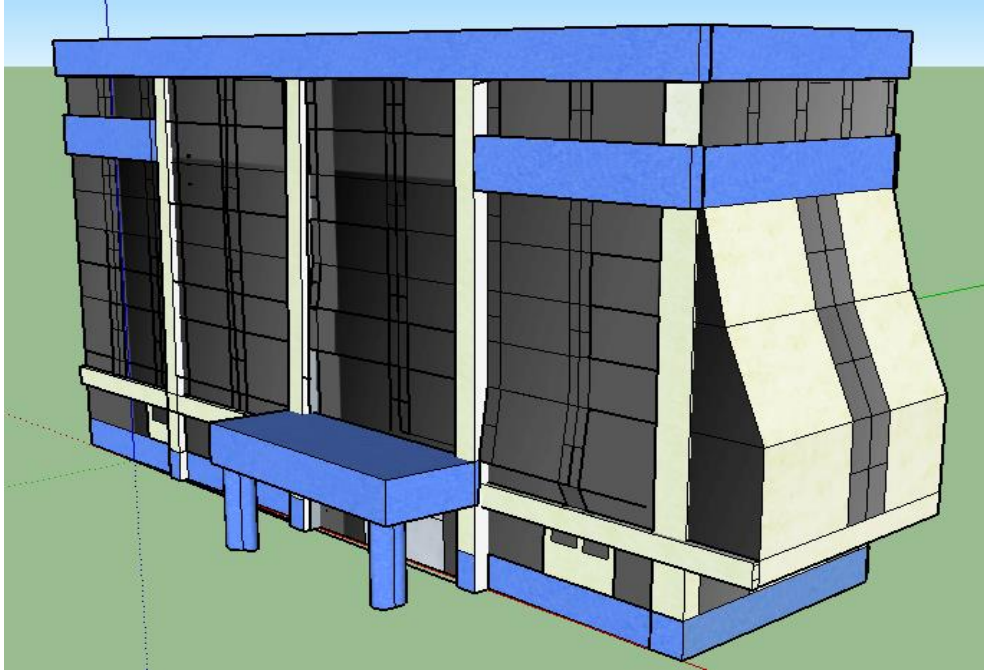
- Yuhu, Z., Jing, R., Yanru, P., & Peng, W. (2019). Solar energy potential assessment: A framework to integrate geographic, technological, and economic indices for a potential analysis. *Renewable Energy Volume 149*, 577-586. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.12.071>
- Zhong, Q., & Tong, D. (2019). Spatial layout optimization for solar photovoltaic (PV) panel installation. *Renewable Energy*, 1-11.
- Zhuk, S., Kushwaha, A., Wong, T. K., Masudy-Panah, S., Smirnov, A., & Dalapati, G. K. (2017). Critical review on sputter-deposited Cu₂ZnSnS₄ (CZTS) based thin film photovoltaic technology focusing on device architecture and absorber quality on the solar cells performance. *Solar Energy Materials and Solar Cells Volume 171*, 239-252. doi:<https://doi.org/10.1016/j.solmat.2017.05.064>
- Zúñiga, C., Benavides, C., & Arnáez, E. (2015). CAMPUS UNIVERSITARIOS COMO AGENTES DE LA EDUCACIÓN PARA LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL. *Biocenosis 29 (1-2)*, 24-28.

Anexos

Anexo A. Análisis de la trayectoria solar con respecto a la ubicación geográfica del edificio FICA

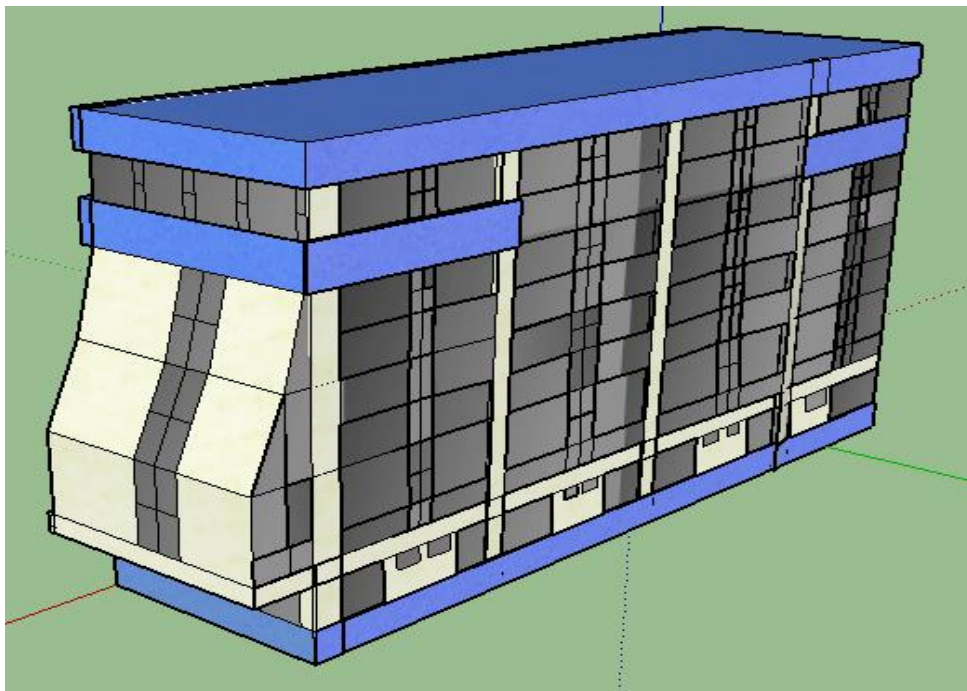
Anexo A1: Modelado en 3D del edificio FICA en el software sketchUp

- Fachada este y norte de la Facultad



Fuente: Autor.

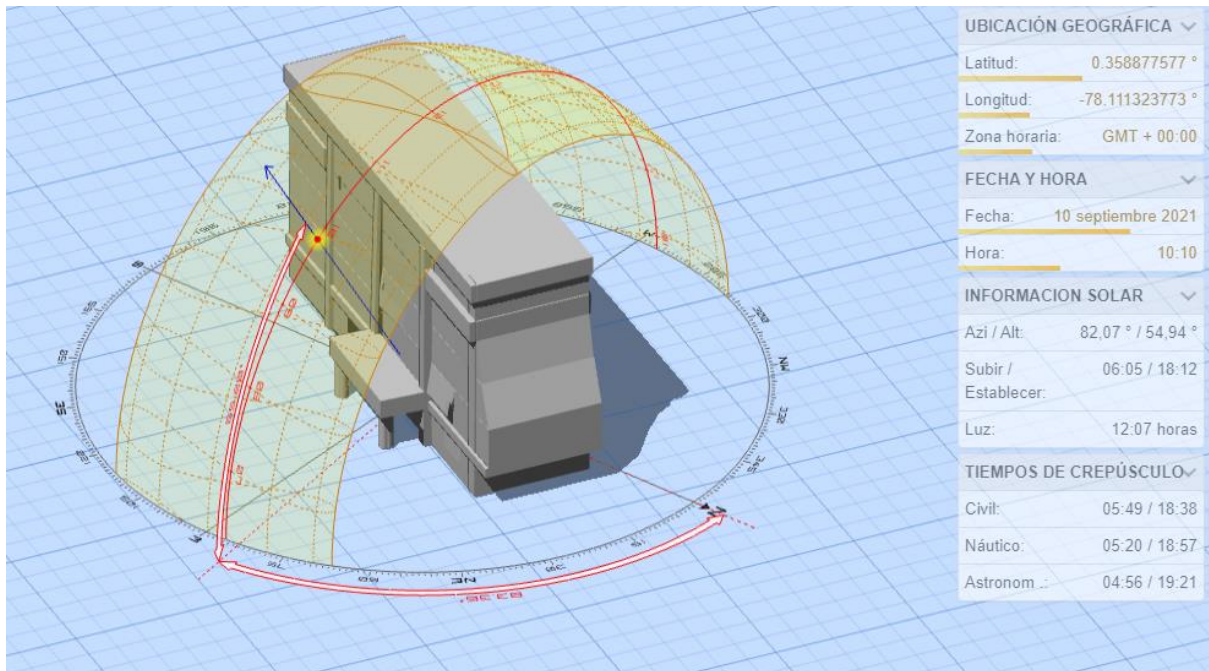
- Fachada oeste y norte de la Facultad



Fuente: Autor.

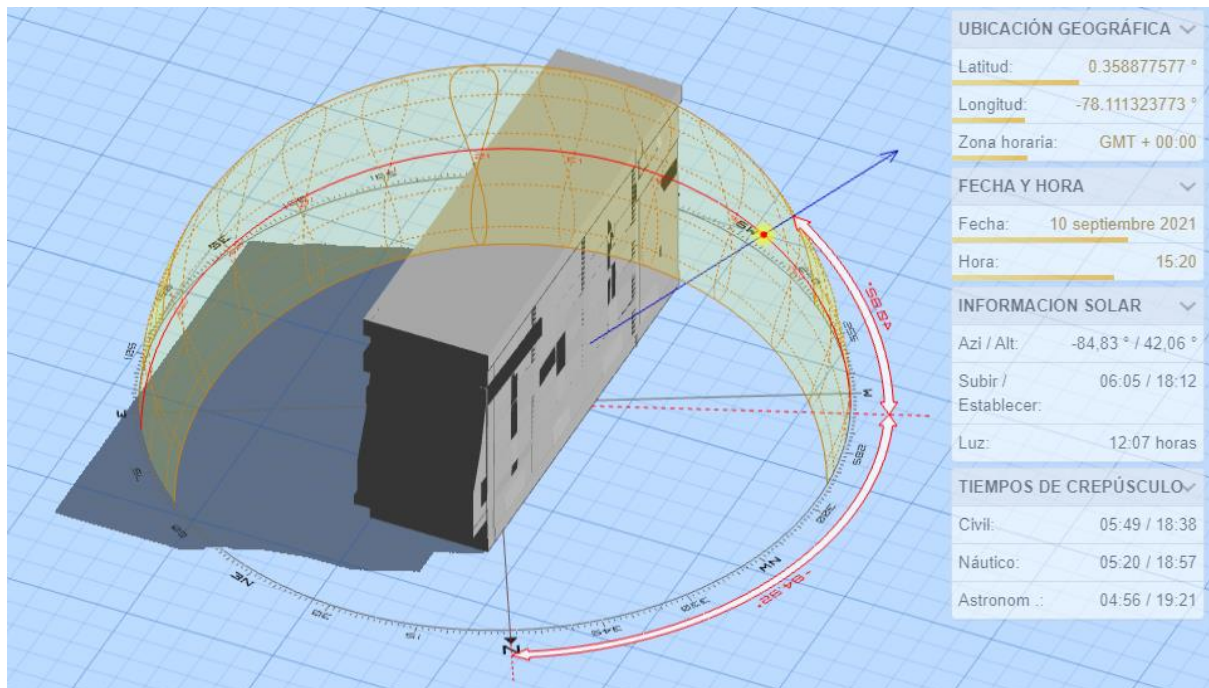
Anexo A2: Modelado de sketchUp a Sun-Path 3D

- El sol incidiendo sobre la fachada este y norte de Facultad a las 10:10 a.m, para una latitud: 0.3588 y long:-78.1132.



Fuente: Autor.

- El sol incidiendo sobre la fachada oeste de Facultad a las 15:20 a.m, para una latitud: 0.3588 y long:-78.1132.



Fuente: Autor.

Anexo B. Cálculos de la sección del conductor y porcentaje de caída de voltaje

Anexo B1: Sección del conductor

Fórmula:

$$S = 2 \frac{\rho_e L I}{\Delta V}$$

Tramos	ΔV Límite máximo admisible	Desarrollo	Resultado	Selección catálogo comercial
Circuito 1: Paneles – Regulador 1	$\Delta V = 24 * \frac{3}{100}$ = 0.72	$S = \frac{2 x 0.017 x 5 x 52.6}{0.72}$	$S = 12.41 \text{ mm}^2$	13.3 mm ²
Circuito 2: Paneles – Regulador 2	$\Delta V = 24 * \frac{3}{100}$ = 0.72	$S = \frac{2 x 0.017 x 6 x 40.95}{0.72}$	$S = 11.60 \text{ mm}^2$	13.3 mm ²
Regulador 1 - Batería	$\Delta V = 24 * \frac{3}{100}$ = 0.72	$S = \frac{2 x 0.017 x 1.50 x 58.9}{0.72}$	$S = 4.17 \text{ mm}^2$	8.367 mm ²
Regulador 1 – inversor	$\Delta V = 24 * \frac{3}{100}$ = 0.72	$S = \frac{2 x 0.017 x 1.50 x 58.9}{0.72}$	$S = 4.17 \text{ mm}^2$	8.367 mm ²
Inversor (salida) - carga	$\Delta V = 127 * \frac{5}{100}$ = 6.35	$S = \frac{2 x 0.017 x 4 x 85}{6.35}$	$S = 2.27 \text{ mm}^2$	5.261 mm ²

Fuente: Autor.

Anexo B2: Porcentaje de caída de tensión

Fórmula:

$$\Delta V\% = 2 \frac{\rho_e L I}{S V_N} \times 100$$

Tramos	Desarrollo	Resultado
Circuito 1: Paneles - Regulador 1	$\Delta V\% = \frac{2 \times 0.017 \times 5 \times 52.6}{13.3 \times 24} \times 100$	$\Delta V\% = 2.80$
Circuito 2: Paneles - Regulador 2	$\Delta V\% = \frac{2 \times 0.017 \times 6 \times 40.95}{13.3 \times 24} \times 100$	$\Delta V\% = 2.61$
Regulador 1 - Batería	$\Delta V\% = \frac{2 \times 0.017 \times 1.50 \times 58.9}{13.3 \times 24} \times 100$	$\Delta V\% = 0.94$
Regulador 1 - inversor	$\Delta V\% = \frac{2 \times 0.017 \times 1.50 \times 58.9}{13.3 \times 24} \times 100$	$\Delta V\% = 0.94$
Inversor (salida) - carga	$\Delta V\% = \frac{2 \times 0.017 \times 4 \times 85}{5.261 \times 127} \times 100$	$\Delta V\% = 1.73$

Fuente: Autor.

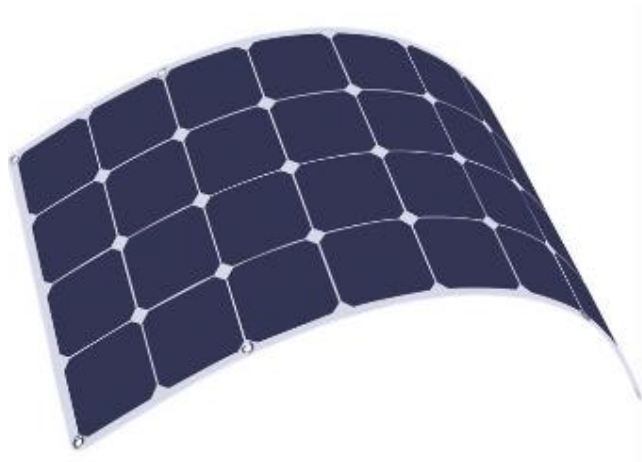
Anexo B3: Selección del conductor

CONDUCTORES DE COBRE			THHN				
CONDUCTOR			Espesor de Aislamiento (mm)	Espesor de Chaqueta (mm)	Diámetro Externo Aprox. (mm)	Peso total Aprox. (kg / km)	*Capacidad de Corriente [A]
CALIBRE (AWG o kcmil)	Sección Transversal (mm ²)	No. Hilos					
FORMACIÓN SÓLIDO Y CABLEADO CONCÉNTRICO							
14	2,08	1	0,38	0,10	2,59	22,56	25
12	3,31	1	0,38	0,10	3,01	34,32	30
10	5,261	1	0,51	0,10	3,81	54,74	40
8	8,367	1	0,76	0,13	5,04	89,55	55
8	8,367	7	0,76	0,13	5,48	94,93	55
6	13,3	7	0,76	0,13	6,44	144,57	75
4	21,15	7	1,02	0,15	8,22	231,68	95
FORMACIÓN UNILAY							
14	2,08	19	0,38	0,1	2,76	23,58	25
12	3,31	19	0,38	0,1	3,26	35,93	30
10	5,261	19	0,51	0,1	4,11	57,28	40
8	8,367	19	0,76	0,13	5,40	93,62	55
6	13,3	19	0,76	0,13	6,34	142,58	75
4	21,15	19	1,02	0,15	8,09	228,51	95
2	33,62	19	1,02	0,15	9,59	350,90	130
1	42,4	19	1,27	0,18	11,04	448,66	150
1/0	53,49	19	1,27	0,18	12,05	560,77	170
2/0	67,44	19	1,27	0,18	13,17	697,21	195
3/0	85,02	19	1,27	0,18	14,43	868,29	225
4/0	107,2	19	1,27	0,18	15,85	1083,04	260
FORMACIÓN CABLEADO CONCÉNTRICO							

Fuente: (ELECTROCABLES, 2021)

Anexo C. Equipos seleccionados para la implementación del sistema fotovoltaico autónomo (SFVA)

Anexo C1. Selección de los paneles solares



Panel solar flexible Sunpower 120 W

Fuente: (Vglory, 2021)

ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS DEL PANEL SOLAR

Parámetros	Características eléctricas
Pico de potencia (WP)	120Wp
Voltaje a Pmax(Vmp)	22,1 V
Corriente a Pmax(Imp)	5.43A
Voltaje de circuito abierto (COV)	26,5 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	5,85 A
Temperatura de funcionamiento	-40 °C a + 85 °C
Eficiencia	21.3 a 23%
Factor de temperatura de Pmax	-0.48%/°C
Factor de temperatura de ISC	0.015%/°C
Temperatura Nominal de la celda de funcionamiento	45 +/-2 °C
Datos en condiciones de prueba estándar (STC)	1000W/M ² ; 1.5AM
Vida útil	25 años

Fuente: (Vglory, 2021)

Anexo C2. Selección del regulador de carga solar



Regulador de carga solar MT6020-Pro

Fuente: (Lumiax, 2021)

ESPECIFICACIONES DEL REGULADOR DE CARGA SOLAR

Parámetros	Características
Modelo	MT6020-Pro
Voltaje del sistema	12/24/48 V
Corriente de carga máxima	60 A
Potencia de entrada máxima	780/3850/4570W
Voltaje máximo en el terminal	190V
Voltaje de flotación	13,7V /27,4V /54,8 V a 25°C
Protección de sobrecarga	15,5 V / 31,0 V / 62,0V
Eficiencia de conversión de carga máxima	98%
Desconexión por bajo voltaje	10,8-11,8V /21,6 ~ 23,6 V /43,2 ~47,2 V
Tipo de batería	Líquido, GEL, AGM, Litio

Fuente: (Lumiax, 2021)

Anexo C3. Selección de la batería



Batería de GEL 6GFM200G (12V/200Ah)

Fuente: (Renova-Energía, 2021)

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA BATERÍA

Parámetros	Características
Modelo	6GFM(G)-150
Marca	SUNBRIGHT
Capacidad nominal	200 Ah
Tipo	Batería de GEL
Peso	Aprox. 59.8 Kg ± 3%
Voltaje nominal	12 V
Dimensiones	522mm x 240mm x 220mm
Vida útil	10 a 12 años a 25°C
Máx. Capacidad de descarga	2000 A (5 seg)

Fuente: (Renova-Energía, 2021)

Anexo C4. Selección del inversor



Inversor solar de onda sinusoidal pura

Fuente: (JYINS, 2021)

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL INVERSOR SOLAR

Parámetros	Características
Modelo	JYP-4K-1
Potencia nominal	4000 W
Potencia de pico	8 000 W
Voltaje de entrada	24 V
Voltaje de salida	110 VAC o 120 VAC $\pm 5\%$
Frecuencia de salida	50Hz $\pm 5\%$ o 60 Hz $\pm 5\%$
Max, eficiencia	90%
Temperatura de trabajo	-10° - +50°
Forma de onda distorsión	THD <3% (carga lineal)

Fuente: (JYINS, 2021)

Anexo D. Cotizaciones

Anexo D1. Cotización Panel Solar Flexible 120 W

Alibaba.com Artículos Lo que estás buscando... Buscar Iniciar sesión Unirse de forma

Categorías Listo para enviar Exhibiciones comerciales Equipo de protección personal Comprar en Alibaba Vender en Alibaba Ayuda

Casa > Todas las industrias > Equipo y suministros eléctricos > Productos de energía solar > Paneles solares Suscribirse a Comercio alerta

12v 24v 100w 120w 150w 180w 200w Etf Semi China alta eficiencia Marina Pv Sunpower Panel Solar Flexible Datos aduaneros

★★★★★ 5.0 2 Reseñas

2 - 99 Unidades	>=100 Unidades
129,00 US\$	115,00 US\$

MARCH EXPO Selección de March Expo 2021

Material: Silicio monocristalino

Energía máx.:

Número de célul...

Lead Time:

Cantidad(Unidades)	1 - 50000	>50000
Hora del Est.(días)	15	Se negociará

Personalización: Logotipo personalizado(Min. Order: 50 Unidades)

Añadir para co... Compartir

Fuente: (Vglory, 2021)

Anexo D2. Cotización inversor 4000 W, 24 V

Alibaba.com Productos Buscar por palabra clave Buscar Iniciar sesión Unirse de forma gratu

Categorías Listo para enviar Exhibiciones comerciales Equipo de protección personal Comprar en Alibaba Vender en Alibaba Ayuda

4000W 12V 24V 48V Dc a Ac 110V 230V inversor \ y convertidores

1 - 49 es	50 - 199 es	>=200 es
\$253,70	\$242,50	\$221,80

MARCH EXPO Selección de March Expo 2021

Potencia de sali...

Lead Time:

Cantidad(es)	1 - 50	>50
Hora del Est.(días)	7	Negociable

Garantía comercial Protege tus pedidos de Alibaba.com

Alibaba.com Freight Compare Rates Learn more

Pago: VISA T/T Online Transfer Apple Pay WesternUnion/WU

Logística de Alibaba.com Soluciones de inspección Condiciones de pago: 60 días netos

Añadir para co... Compartir

Fuente: (JYINS, 2021)

Anexo D3. Cotización Regulador de carga solar 60 A MPPT, 24 V

Alibaba.com Productos

Categorías | Listo para enviar | Ferias | Equipo de protección personal | Fuente en Alibaba | Vender en Alibaba | Ayuda

Inicio > Todas las industrias > Equipos y suministros eléctricos > Productos de energía solar > Controladores de cargador solar [Suscríbese a Trade Alert](#)

Nota: tenga cuidado y consulte con su proveedor si este producto es para protección contra virus y si el coronavirus (COVID-19) afectará su pedido.

60A MPPT 12V / 24V / 48V controlador de carga solar automático Bluetooth pantalla LCD RS485
★★★★★ 5.0 3 Reseñas

2 - 4 Piezas	5 - 9 Piezas	10 - 29 Piezas	> = 30 piezas
\$ 192.00	190,00 \$	\$ 185.00	\$ 175.00

MARCH EXPO Selección marzo Expo 2021

5% DE DESCUENTO Valor del producto superior a \$ 300,00, con un límite...

Voltaje nominal:

Corriente máxi... 60A

Muestras : 12V / 24V / 48V , 60A \$ 195.00 / Pieza 1.1 pieza (pedido mínimo)

Fuente: (Lumiax, 2021)

Anexo D4. Cotización baterías de Gel 12 V, 200 ah

RENOVA ENERGIA
VIDA RENOVABLE & SUSTENTABLE

Cotización

Fecha: 10/02/2021 13:02:00 RENOVAENERGIA S.A. RUC: 1792187567001 Pasaje S. Melo OE1-37 y Av. Galo Plaza Lazo Quito - Ecuador Tlf: (593 2) 2403643 Ext. 101 y 102 Celulares: 0987000710, 0987593688 Email: info@renova-energia.com www.renova-energia.com	Proforma: RNV-OF-UIO-13226-10022021 Cliente: Rony Trejo Ruc: Dirección: Email: ronytre1997@gmail.com Teléfono: Celular: 0979168639
---	---

Oferta Económica

Equipo	Código y Modelo	Cantidad	P. Unitario	P. Con Iva	Subtotal	Total (+IVA)
Baterías	BT052 - Ritar Power DC6200 12Vdc 200Ah 200Ah@20horas (AGM), RA6-200	28.00	\$312.50	\$350.00	\$8750.00	\$9800.00
Son: NUEVE MIL OCHOCIENTO DOLARES 00/100					Totales	\$8750.00
						\$9800.00

Entregas

BT052 - Entrega 8 unidades de inmediato, y 28 unidades en 75 días calendario contados a partir de la aceptación de la propuesta y sus condiciones.

Fuente: (Renova-Energía, 2021)

Anexo D5. Cotización transporte marítimo


 ORIGEN
CHINA


 PUERTO DE
SHENZHEN


 RUTA
DIRECTO


 PUERTO DE
GUAYAQUIL


 DESTINO
ECUADOR

\$ 2,880.00
 VÁLIDO 28/02/21

PERSONALIZA TU ENVÍO

TARIFA Y DETALLES

SELECCIONAR SALIDA

RESUMEN DE COTIZACIÓN

PUERTO DE ORIGEN	SHENZHEN
PUERTO DE DESTINO	GUAYAQUIL
TIPO DE ENVIO	LCL
TRANSBORDOS	DIRECTO
DETALLES DE CARGA	2,343283582089552 KG 0,26865671641791045 CBM 67

CAÍDA DE PRECIOS

FLETE TOTAL	\$ 2,880.00 ▲
Carga	\$ 2,700.00
Recargo estacional	180,00 \$
TOTAL	\$ 2,880.00

Fuente: (¡Containers, 2021).

Anexo E. Análisis económico

Anexo E1. Cálculo del costo nivelado de energía (LCOE) con tasa de descuento del 7%

Tasa de descuento: 7 %				
Tasa de degradación: 5 %				
Años	Egresos		Energía	
	Egresos	Actualizado	Generación kWh anual	Actualizado
1	23.370,00	\$ 21.841,12	4268,85	3989,58
2	\$ -	\$ -	4226,16	3691,29
3	\$ -	\$ -	4183,90	3415,31
4	\$ -	\$ -	4142,06	3159,96
5	\$ -	\$ -	4100,64	2923,70
6	\$ -	\$ -	4059,63	2705,11
7	\$ -	\$ -	4019,04	2502,85
8	\$ -	\$ -	3978,85	2315,73
9	\$ -	\$ -	3939,06	2142,59
10	\$ -	\$ -	3899,67	1982,39
11	\$ -	\$ -	3860,67	1834,18
12	\$ -	\$ -	3822,06	1697,04
13	\$ -	\$ -	3783,84	1570,16
14	\$ -	\$ -	3746,01	1452,77
15	\$ -	\$ -	3708,55	1344,15
16	\$ -	\$ -	3671,46	1243,65
17	\$ -	\$ -	3634,75	1150,67
18	\$ -	\$ -	3598,40	1064,64
19	\$ -	\$ -	3562,41	985,04
20	\$ -	\$ -	3526,79	911,39
21	\$ -	\$ -	3491,52	843,25
22	\$ -	\$ -	3456,61	780,20
23	\$ -	\$ -	3422,04	721,87
24	\$ -	\$ -	3387,82	667,90
25	\$ -	\$ -	3353,94	617,96
		\$ 21.841,12		59030,05
Costo Energía USD/Kwh (LCOE)			\$	0,37

Fuente: Autor

Anexo E2. Cálculo del costo nivelado de energía (LCOE) con tasa de descuento del 8,68%.

Tasa de descuento: 8,68 %				
Tasa de degradación: 5 %				
	Egresos		Energía	
Años	Egresos	Actualizado	Generación kWh anual	Actualizado
1	23.370,00	\$ 21.503,50	4268,85	3927,91
2	\$ -	\$ -	4226,16	3578,05
3	\$ -	\$ -	4183,90	3259,36
4	\$ -	\$ -	4142,06	2969,05
5	\$ -	\$ -	4100,64	2704,60
6	\$ -	\$ -	4059,63	2463,71
7	\$ -	\$ -	4019,04	2244,27
8	\$ -	\$ -	3978,85	2044,37
9	\$ -	\$ -	3939,06	1862,28
10	\$ -	\$ -	3899,67	1696,41
11	\$ -	\$ -	3860,67	1545,31
12	\$ -	\$ -	3822,06	1407,68
13	\$ -	\$ -	3783,84	1282,30
14	\$ -	\$ -	3746,01	1168,08
15	\$ -	\$ -	3708,55	1064,04
16	\$ -	\$ -	3671,46	969,27
17	\$ -	\$ -	3634,75	882,94
18	\$ -	\$ -	3598,40	804,30
19	\$ -	\$ -	3562,41	732,66
20	\$ -	\$ -	3526,79	667,40
21	\$ -	\$ -	3491,52	607,96
22	\$ -	\$ -	3456,61	553,81
23	\$ -	\$ -	3422,04	504,48
24	\$ -	\$ -	3387,82	459,55
25	\$ -	\$ -	3353,94	418,62
		\$ 21.503,50		51198,80
Costo Energía USD/Kwh (LCOE)			\$	0,42

Fuente: Autor

Anexo E3. Cálculo del VAN y el TIR sin considerar costos por reemplazos.

Tasa de descuento: 7 % Costo nivelado de energía: 0,37 USD/kWh							
Años	Egresos	Rendimiento del panel	Generación kWh anual	Precio de energía USD/kWh	Ingresos	Flujo de caja	Flujo de caja acumulada
0	\$ 23.370,00					\$-23.370,00	\$ -23.370,00
1	\$ -	100,00%	4.268,85	\$ 0,37	\$ 1.579,47	\$ 1.579,47	\$ -16.788,47
2	\$ -	99,70%	4.226,16	\$ 0,37	\$ 1.563,68	\$ 1.563,68	\$ -15.224,79
3	\$ -	99,40%	4.183,90	\$ 0,37	\$ 1.548,04	\$ 1.548,04	\$ -13.676,74
4	\$ -	99,10%	4.142,06	\$ 0,37	\$ 1.532,56	\$ 1.532,56	\$ -12.144,18
5	\$ -	98,80%	4.100,64	\$ 0,37	\$ 1.517,24	\$ 1.517,24	\$ -10.626,94
6	\$ -	98,50%	4.059,63	\$ 0,37	\$ 1.502,06	\$ 1.502,06	\$ -9.124,88
7	\$ -	98,20%	4.019,04	\$ 0,37	\$ 1.487,04	\$ 1.487,04	\$ -7.637,83
8	\$ -	97,90%	3.978,85	\$ 0,37	\$ 1.472,17	\$ 1.472,17	\$ -6.165,66
9	\$ -	97,60%	3.939,06	\$ 0,37	\$ 1.457,45	\$ 1.457,45	\$ -4.708,21
10	\$ -	97,30%	3.899,67	\$ 0,37	\$ 1.442,88	\$ 1.442,88	\$ -3.265,33
11	\$ -	97,00%	3.860,67	\$ 0,37	\$ 1.428,45	\$ 1.428,45	\$ -1.836,88
12	\$ -	96,70%	3.822,06	\$ 0,37	\$ 1.414,16	\$ 1.414,16	\$ -422,72
13	\$ -	96,40%	3.783,84	\$ 0,37	\$ 1.400,02	\$ 1.400,02	\$ 977,30
14	\$ -	96,10%	3.746,01	\$ 0,37	\$ 1.386,02	\$ 1.386,02	\$ 2.363,32
15	\$ -	95,80%	3.708,55	\$ 0,37	\$ 1.372,16	\$ 1.372,16	\$ 3.735,49
16	\$ -	95,50%	3.671,46	\$ 0,37	\$ 1.358,44	\$ 1.358,44	\$ 5.093,93
17	\$ -	95,20%	3.634,75	\$ 0,37	\$ 1.344,86	\$ 1.344,86	\$ 6.438,78
18	\$ -	94,90%	3.598,40	\$ 0,37	\$ 1.331,41	\$ 1.331,41	\$ 7.770,19
19	\$ -	94,60%	3.562,41	\$ 0,37	\$ 1.318,09	\$ 1.318,09	\$ 9.088,28
20	\$ -	94,30%	3.526,79	\$ 0,37	\$ 1.304,91	\$ 1.304,91	\$ 10.393,19
21	\$ -	94,00%	3.491,52	\$ 0,37	\$ 1.291,86	\$ 1.291,86	\$ 11.685,06
22	\$ -	93,70%	3.456,61	\$ 0,37	\$ 1.278,94	\$ 1.278,94	\$ 12.964,00
23	\$ -	93,40%	3.422,04	\$ 0,37	\$ 1.266,16	\$ 1.266,16	\$ 14.230,16
24	\$ -	93,10%	3.387,82	\$ 0,37	\$ 1.253,49	\$ 1.253,49	\$ 15.483,65
25	\$ -	92,80%	3.353,94	\$ 0,37	\$ 1.240,96	\$ 1.240,96	\$ 16.724,61
VAN		38,60					
TIR		7%					

Fuente: Autor

Anexo E4. Cálculo del VAN y el TIR considerando costos por reemplazos.

Tasa de descuento: 7 % Costo nivelado de energía: 0,37 USD/kWh							
Años	Egresos	Rendimiento del panel	Generación kWh anual	Precio de energía USD/kWh	Ingresos	Flujo de caja	Flujo de caja acumulada
0	\$ 23.370,00					\$ -23.370,00	\$ -23.370,00
1	\$ -	100,00%	4.268,85	\$ 0,37	\$ 1.579,47	\$ 1.579,47	\$ -16.788,47
2	\$ -	99,70%	4.226,16	\$ 0,37	\$ 1.563,68	\$ 1.563,68	\$ -15.224,79
3	\$ -	99,40%	4.183,90	\$ 0,37	\$ 1.548,04	\$ 1.548,04	\$ -13.676,74
4	\$ -	99,10%	4.142,06	\$ 0,37	\$ 1.532,56	\$ 1.532,56	\$ -12.144,18
5	\$ -	98,80%	4.100,64	\$ 0,37	\$ 1.517,24	\$ 1.517,24	\$ -10.626,94
6	\$ -	98,50%	4.059,63	\$ 0,37	\$ 1.502,06	\$ 1.502,06	\$ -9.124,88
7	\$ -	98,20%	4.019,04	\$ 0,37	\$ 1.487,04	\$ 1.487,04	\$ -7.637,83
8	\$ -	97,90%	3.978,85	\$ 0,37	\$ 1.472,17	\$ 1.472,17	\$ -6.165,66
9	\$ -	97,60%	3.939,06	\$ 0,37	\$ 1.457,45	\$ 1.457,45	\$ -4.708,21
10	\$ -	97,30%	3.899,67	\$ 0,37	\$ 1.442,88	\$ 1.442,88	\$ -3.265,33
11	\$ -	97,00%	3.860,67	\$ 0,37	\$ 1.428,45	\$ 1.428,45	\$ -1.836,88
12	\$ 9.800,00	96,70%	3.822,06	\$ 0,37	\$ 1.414,16	\$ -3.485,84	\$ -5.322,72
13	\$ -	96,40%	3.783,84	\$ 0,37	\$ 1.400,02	\$ 1.400,02	\$ -3.922,70
14	\$ -	96,10%	3.746,01	\$ 0,37	\$ 1.386,02	\$ 1.386,02	\$ -2.536,68
15	\$ 901,80	95,80%	3.708,55	\$ 0,37	\$ 1.372,16	\$ 470,36	\$ -2.066,31
16	\$ -	95,50%	3.671,46	\$ 0,37	\$ 1.358,44	\$ 1.358,44	\$ -707,87
17	\$ -	95,20%	3.634,75	\$ 0,37	\$ 1.344,86	\$ 1.344,86	\$ 636,98
18	\$ -	94,90%	3.598,40	\$ 0,37	\$ 1.331,41	\$ 1.331,41	\$ 1.968,39
19	\$ -	94,60%	3.562,41	\$ 0,37	\$ 1.318,09	\$ 1.318,09	\$ 3.286,48
20	\$ -	94,30%	3.526,79	\$ 0,37	\$ 1.304,91	\$ 1.304,91	\$ 4.591,39
21	\$ -	94,00%	3.491,52	\$ 0,37	\$ 1.291,86	\$ 1.291,86	\$ 5.883,26
22	\$ -	93,70%	3.456,61	\$ 0,37	\$ 1.278,94	\$ 1.278,94	\$ 7.162,20
23	\$ -	93,40%	3.422,04	\$ 0,37	\$ 1.266,16	\$ 1.266,16	\$ 8.428,36
24	\$ -	93,10%	3.387,82	\$ 0,37	\$ 1.253,49	\$ 1.253,49	\$ 9.681,85
25	\$ -	92,80%	3.353,94	\$ 0,37	\$ 1.240,96	\$ 1.240,96	\$ 10.922,81
VAN		-2.463,91					
TIR		5%					

Fuente: Autor

Anexo E5. Cálculo del VAN y el TIR considerando costos por reemplazos.

Tasa de descuento: 7 % Costo nivelado de energía: 0,42 USD/kWh							
Años	Egresos	Rendimiento del panel	Generación kWh anual	Precio de energía USD/kWh	Ingresos	Flujo de caja	Flujo de caja acumulada
0	\$23.370,00					\$-23.370,00	\$ -23.370,00
1	\$ -	100,00%	4.268,85	\$ 0,42	\$ 1.792,92	\$ 1.792,92	\$ -16.575,02
2	\$ -	99,70%	4.226,16	\$ 0,42	\$ 1.774,99	\$ 1.774,99	\$ -14.800,04
3	\$ -	99,40%	4.183,90	\$ 0,42	\$ 1.757,24	\$ 1.757,24	\$ -13.042,80
4	\$ -	99,10%	4.142,06	\$ 0,42	\$ 1.739,67	\$ 1.739,67	\$ -11.303,13
5	\$ -	98,80%	4.100,64	\$ 0,42	\$ 1.722,27	\$ 1.722,27	\$ -9.580,86
6	\$ -	98,50%	4.059,63	\$ 0,42	\$ 1.705,05	\$ 1.705,05	\$ -7.875,82
7	\$ -	98,20%	4.019,04	\$ 0,42	\$ 1.688,00	\$ 1.688,00	\$ -6.187,82
8	\$ -	97,90%	3.978,85	\$ 0,42	\$ 1.671,12	\$ 1.671,12	\$ -4.516,70
9	\$ -	97,60%	3.939,06	\$ 0,42	\$ 1.654,40	\$ 1.654,40	\$ -2.862,30
10	\$ -	97,30%	3.899,67	\$ 0,42	\$ 1.637,86	\$ 1.637,86	\$ -1.224,44
11	\$ -	97,00%	3.860,67	\$ 0,42	\$ 1.621,48	\$ 1.621,48	\$ 397,04
12	\$ 9.800,00	96,70%	3.822,06	\$ 0,42	\$ 1.605,27	\$ -3.294,73	\$ -2.897,69
13	\$ -	96,40%	3.783,84	\$ 0,42	\$ 1.589,21	\$ 1.589,21	\$ -1.308,48
14	\$ -	96,10%	3.746,01	\$ 0,42	\$ 1.573,32	\$ 1.573,32	\$ 264,85
15	\$ 901,80	95,80%	3.708,55	\$ 0,42	\$ 1.557,59	\$ 655,79	\$ 920,64
16	\$ -	95,50%	3.671,46	\$ 0,42	\$ 1.542,01	\$ 1.542,01	\$ 2.462,65
17	\$ -	95,20%	3.634,75	\$ 0,42	\$ 1.526,59	\$ 1.526,59	\$ 3.989,24
18	\$ -	94,90%	3.598,40	\$ 0,42	\$ 1.511,33	\$ 1.511,33	\$ 5.500,57
19	\$ -	94,60%	3.562,41	\$ 0,42	\$ 1.496,21	\$ 1.496,21	\$ 6.996,78
20	\$ -	94,30%	3.526,79	\$ 0,42	\$ 1.481,25	\$ 1.481,25	\$ 8.478,03
21	\$ -	94,00%	3.491,52	\$ 0,42	\$ 1.466,44	\$ 1.466,44	\$ 9.944,47
22	\$ -	93,70%	3.456,61	\$ 0,42	\$ 1.451,77	\$ 1.451,77	\$ 11.396,25
23	\$ -	93,40%	3.422,04	\$ 0,42	\$ 1.437,26	\$ 1.437,26	\$ 12.833,51
24	\$ -	93,10%	3.387,82	\$ 0,42	\$ 1.422,88	\$ 1.422,88	\$ 14.256,39
25	\$ -	92,80%	3.353,94	\$ 0,42	\$ 1.408,66	\$ 1.408,66	\$ 15.665,05
VAN		23,45					
TIR		7%					

Fuente: Autor

Anexo E6. Cálculo del periodo de recuperación de la inversión inicial

Formula:

$$PIR = a + \left(\frac{b}{c}\right)$$

Donde:

a = Periodo del último Flujo negativo

b = Valor Absoluto del último Flujo Negativo

c = Valor del Flujo Siguiente

Considerando el flujo de caja evaluado a 0.37 USD/kWh se tiene:

$$PIR = 12 + \left(\frac{abs(422.70)}{1,400.02}\right)$$

$$PIR = 12.30$$

Años	Meses	Días
12	12x0.30 = 3.6	30x0.6
12 años	4 meses	18 días

Fuente: Autor

Anexo F. Sistema conectado a la red (SFVCR)

Anexo F1. Selección del inversor conectado a la red



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL INVERSOR

Parámetros	Características
Modelo	BSM5K-B
Potencia nominal	5 kW
Frecuencia de salida	50/60 Hz
Eficiencia	98.5%
Tipo	DC/AC
Máx. Corriente de entrada FV	22 A
Rango de voltaje MPPT	200Vdc ~ 950Vdc
Dimensiones	480 x 420 x 180 mm
Temperatura de trabajo	-45° - +60°
Comunicación	RS485 / WiFi / GPRS

Fuente: (Bluesun, 2021)

Anexo F2. Costos de importación del panel solar y del inversor conectado a la red

Descripción	Item	Referencia	Costo Total (USD)
Valor del FOB del panel solar			
El precio del producto en origen	Equipo	Panel solar	8,256.00
	Costo unitario	USD 129.00	
	Cantidad	64	
Flete	Peso kg	134.4 kg	2,117.30
	Dimensiones CBM	13.66	
Seguro	Porcentaje	1 %	82.56
Pago de tributos por del panel solar importado			
AD-VALOREM	Cod. Arancelario	N/d	0
FODINFA	Porcentaje	0.50 %	52.27
IVA	Porcentaje	12%	1260
Costo total de la importación (USD)			11,769.00
Valor del FOB del inversor			
El precio del producto en origen	Equipo	Inversor trifásico	1,358.00
	Costo unitario	USD 679.00	
	Cantidad	2	
Flete	Peso Kg	23 kg	155.00
	Dimensiones CBM	0.072	
Seguro de transporte	Porcentaje	1 %	13.58
Pago de tributos por el inversor importado			
AD-VALOREM	Cod. Arancelario	5 %	76.33
FODINFA	Porcentaje	0.50 %	7.639
IVA	Porcentaje	12%	193.23
Costo total de la importación (USD)			1803.79
Costo total de la instalación fotovoltaica conectada a la red (Paneles solares + inversor)			13.572,79

Fuente: Autor