



**FACULTAD DE POSTGRADO**

**TESIS DE POSTGRADO**

**VIABILIDAD TÉCNICA Y FINANCIERA DE SISTEMAS  
SOLARES FOTOVOLTAICOS EN ZONAS RESIDENCIALES  
DE SAN PEDRO SULA.**

**SUSTENTADO POR:**

**JESENIA AURORA HERNÁNDEZ GUZMÁN**

**VIELKA SOFIA BARAHONA GARCÍA**

**PREVIA INVESTIDURA AL TÍTULO DE  
MÁSTER EN FINANZAS**

**SAN PEDRO SULA, CORTÉS, HONDURAS, C.A.**

**ENERO, 2019**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**UNITEC**

**FACULTAD DE POSTGRADO**

**AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

**RECTOR**

**MARLON BREVÉ REYES**

**SECRETARIO GENERAL**

**ROGÉR MARTÍNEZ MIRANDA**

**VICERRECTORA ACADÉMICA**

**DESIREE TEJADA CALVO**

**VICEPRESIDENTE UNITEC, CAMPUS SPS**

**CARLA MARÍA PANTOJA**

**DECANO DE FACULTAD DE POSTGRADO**

**CLAUDIA MARÍA CASTRO VALLE**

**VIABILIDAD TÉCNICA Y FINANCIERA DE SISTEMAS  
SOLARES FOTOVOLTAICOS EN ZONAS RESIDENCIALES  
DE SAN PEDRO SULA**

**TRABAJO PRESENTADO EN CUMPLIMIENTO DE LOS  
REQUISITOS EXIGIDOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
MÁSTER EN FINANZAS**

**ASESOR METODOLÓGICO  
JUAN JACOBO PAREDES HELLER**

**ASESOR TEMÁTICO  
RICARDO E. YONES  
OSMER MONCADA**

**MIEMBROS DE LA TERNA  
MARLÓN FLORES  
NELSON LIZARDO  
ABEL SALAZAR**

# **DERECHOS DE AUTOR**

© Copyright 2019

Jesenia Aurora Hernández Guzmán

Vielka Sofia Barahona García

Todos los derechos son reservados.

# **AUTORIZACIÓN DEL AUTOR(ES) PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO DE TESIS DE POSTGRADO**

Señores

**CENTRO DE RECURSOS PARA**

**EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN (CRAI)**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA (UNITEC)**

San Pedro Sula

Estimados Señores:

Nosotras, JESENIA AURORA HERNÁNDEZ GUZMAN y VIELKA SOFIA BARAHONA GARCÍA, de San Pedro Sula, autores del trabajo de postgrado titulado: VIABILIDAD TÉCNICA Y FINANCIERA DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS EN ZONAS RESIDENCIALES DE SAN PEDRO SULA, presentado y aprobado en diciembre/2018, como requisito previo para optar al título de máster en Finanzas reconociendo que la presentación del presente documento forma parte de los requerimientos establecidos del programa de maestrías de la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), por este medio autorizamos a las Bibliotecas de los Centros de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI) de la UNITEC, para que con fines académicos, puedan libremente registrar, copiar o utilizar la información contenida en él, con fines educativos, investigativos o sociales de la siguiente manera:

- 1) Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo en las salas de estudio de la biblioteca y/o la página Web de la Universidad.
- 2) Permita la consulta, la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato CD o digital desde Internet, Intranet, etc., y en general en cualquier otro formato conocido o por conocer.

De conformidad con lo establecido en los artículos 9.2, 18, 19, 35 y 62 de la Ley de Derechos de Autor y de los Derechos Conexos; los derechos morales pertenecen al autor y son personalísimos, irrenunciables, imprescriptibles e inalienables, asimismo, por tratarse de una

obra colectiva, los autores ceden de forma ilimitada y exclusiva a la UNITEC la titularidad de los derechos patrimoniales. Es entendido que cualquier copia o reproducción del presente documento con fines de lucro no está permitida sin previa autorización por escrito de parte de UNITEC.

En fe de lo cual, se suscribe el presente documento en la ciudad de San Pedro Sula a los 30 días del mes de enero de 2019.

---

**Jesenia Aurora Hernández Guzmán**

**2110317**

---

**Vielka Sofía Barahona García**

**21713142**



## **FACULTAD DE POSTGRADO**

# **VIABILIDAD TÉCNICA Y FINANCIERA DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS EN ZONAS RESIDENCIALES DE SAN PEDRO SULA.**

## **AUTORES**

**JESENIA AURARA HERNANDEZ GUZMAN**

**VIELKA SOFIA BARAHONA GARCIA**

## **RESUMEN**

El proyecto consiste en la realización de un análisis técnico y financiero de sistemas fotovoltaicos para usuarios del sector residencial del Valle de Sula, que se realizó a partir de la comparación de dos tipos de sistemas de generación fotovoltaica: Sistema interconectado a la red y Sistema aislado o autónomo. Para el desarrollo del proyecto se consideró a dos tipos de usuarios, seleccionados según las tarifas de consumo energético en Kilovatio-hora (KWh). En ambos casos se dimensionaron sistemas para cubrir la potencia eléctrica consumida descrita en los perfiles de carga. El análisis de los datos se realizó mediante una metodología de investigación mixta, donde los resultados obtenidos indican que las zonas residenciales de San Pedro Sula disponen de los factores técnicos requeridos para la instalación de una planta solar, sin embargo, este tipo de sistemas carecen de incentivos legales y económicos. Por lo que se concluye que la implementación de los sistemas solares no es viable desde el punto de vista financiero si el usuario no dispone con el capital requerido para realizar la implementación.

**Palabras claves:** Sistemas Fotovoltaicos, Energía Solar, Autoconsumo, Sistemas de Distribución



**GRADUATE SCHOOL**

**TECHNICAL AND FINANCIAL VIABILITY OF PHOTOVOLTAIC  
SYSTEMS IN RESIDENTIALS AREAS OF SAN PEDRO SULA.**

**BY**

**JESENIA AURARA HERNANDEZ GUZMAN**

**VIELKA SOFIA BARAHONA GARCIA**

**ABSTRACT**

The project consists in the technical and financial analysis of photovoltaic system intended for residential use in the Valle de Sula area, that will be make starting with the two existing types of photovoltaic generation systems: Grid Interconnected system and an Autonomous Photovoltaic system (Off Grid System). The considers the analysis of two types of user, in accordance to the utility rates of electrical energy in Kilowatt-hours (KWh). In both cases the size of the system will be calculated to supply the energy consumption in accordance to the energy profile. The analysis of the data was carried out using a mixed research methodology, where the results indicate that the residential areas of San Pedro Sula have the technical factors required for the installation of a photovoltaic generation plant, however, this type of systems lack legal and economic incentives. So it is concluded that the implementation of solar systems is not viable from the financial point of view if the user does not have the capital required to implement the installation.

**Keywords:** Photovoltaic System, Solar Energy, Self-consumption, Distribution Systems.



## **DEDICATORIA**

Primeramente quiero dedicar este logro a Dios, gracias por darme la sabiduría, entendimiento y oportunidad para lograr una meta más en mi vida profesional, a toda mi familia, por ser un pilar fundamental en este proceso, gracias por su apoyo incondicional y por darme ánimos en los momentos que sentía que ya no podía, a mi compañera y amiga Vielka Barahona, por los momentos compartidos y las experiencias ganadas durante la realización de este proyecto y especialmente a mi hija Génesis, motor de mi vida y fuente de todos mis deseos de superación, gracias por prestarme el tiempo que era de ella para llegar hasta este momento.

Jesenia Aurora Hernández Guzmán

En primer lugar, le dedico esta tesis a Dios, porque sin tu ayuda nada es posible, a mi madre, Irma Garcia por su apoyo incondicional, en cada meta y propósito que me he propuesto, A mi esposo Henry Sabillón por desvelarse conmigo durante el desarrollo de esta tesis y por ser un apoyo incondicional en mi vida, a mi amiga Jesenia Hernández que desde el inicio de la maestría decidimos caminar y alcanzar juntas este logro y experiencia de vida.

Vielka Sofía Barahona García

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, agradecemos a Dios por darnos las fuerzas y sabiduría para concluir esta etapa de nuestra vida académica, por permitirnos culminar con éxito una meta más.

A nuestras familias por la paciencia y apoyo brindado durante el desarrollo de nuestro proyecto.

Al Dr. Juan Jacobo Paredes Heller, por sus consejos, por apoyarnos a culminar esta parte del proceso para lograr nuestra meta, porque desde el principio nos dijo que se permitía todo menos renunciar, por animarnos a continuar cuando sentíamos desmayar.

A cada docente que ha dejado su huella a lo largo de este camino, ya que por los conocimientos compartidos nos ayudan a ser mejores profesionales.

Por último y no menos importante a nuestros amigos y compañeros, que estuvieron presentes en todo este tiempo, agradecemos infinitamente todos sus consejos y palabras de aliento para seguir adelante.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN .....	1
1.1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA .....	2
1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	5
1.3.1 ENUNCIADO DEL PROBLEMA .....	5
1.3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	5
1.3.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN .....	6
1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	6
1.4.1 OBJETIVO GENERAL .....	6
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	6
1.5 JUSTIFICACIÓN .....	7
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	8
2.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL .....	8
2.1.1 ANÁLISIS DEL MACRO-ENTORNO .....	9
2.1.2 ANÁLISIS DEL MICRO-ENTORNO .....	10
2.1.3 ANÁLISIS INTERNO .....	13
2.2 TEORÍA DE SUSTENTO .....	14
2.2.1 GEOMETRÍA SOLAR .....	15
2.2.2 CÁLCULO DE LA IRRADIANCIA SOLAR .....	19
2.2.3 TEORÍA DE LOS SEMICONDUCTORES: LA CÉLULA SOLAR ..	21
2.2.3.1 CLASIFICACIÓN DE LAS CELDAS SOLARES: .....	23
2.2.3.2 CONEXIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS .....	26
2.2.3.3 TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS .....	28
2.2.4 DIMENSIONAMIENTO DEL GENERADOR SOLAR .....	30
2.2.5 ESTUDIO TÉCNICO .....	31
2.2.6 ANÁLISIS FINANCIERO .....	33
2.2.6.1 VALOR PRESENTE NETO .....	33
2.2.6.2 TASA INTERNA DE RETORNO .....	34

2.2.7 TIEMPO DE RETORNO ENERGÉTICO DE SISTEMAS FOTVOLTAICOS.....	34
2.3 CONCEPTUALIZACIÓN .....	36
2.3.1 RADIACIÓN SOLAR .....	36
2.3.2 CONSTANTE SOLAR.....	36
2.3.3 IRRADIACIÓN SOLAR .....	36
2.3.4 GENERADOR FOTVOLTAICO .....	36
2.3.5 STRING O CADENA.....	36
2.3.6 INVERSOR.....	36
2.3.7 SISTEMA FOTVOLTAICO CONECTADO A LA RED (SFCR) ..	37
2.3.8 SISTEMA FOTVOLTAICO AUTÓNOMO (SFA) .....	37
2.3.9 ACUMULADOR ELECTROQUÍMICO .....	37
2.3.10 VALOR PRESENTE NETO.....	37
2.3.11 TASA INTERNA DE RETORNO.....	38
2.3.12 COSTO DE CAPITAL .....	38
2.3.13 RETORNO DE LA INVERSIÓN.....	38
2.4 MARCO LEGAL .....	38
2.4.1 LEY MARCO DEL SUBSECTOR ELÉCTRICO .....	38
2.4.2 LEY DE PROMOCIÓN A LA GENERACIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA .....	40
2.4.3 LEY DE INCENTIVOS A LAS ENERGÍAS RENOVABLES.....	40
2.5 MARCO METODOLÓGICO .....	42
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA .....	43
3.1 CONGRUENCIA METODOLÓGICA .....	43
3.1.1 MATRIZ METODOLÓGICA .....	43
3.1.2 DEFINICIÓN OPERACIONAL DE LAS VARIABLES .....	44
3.1.3 HIPÓTESIS .....	47
3.2 ENFOQUE Y MÉTODOS .....	47
3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	48
3.3.1 POBLACIÓN .....	48

3.3.2 MUESTRA.....	49
3.3.3 UNIDAD DE ANÁLISIS .....	49
3.3.4 UNIDAD DE RESPUESTA .....	49
3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS .....	49
3.4.1 INSTRUMENTOS .....	50
3.4.1.1 LA ENTREVISTA PERSONAL .....	50
3.4.1.2 ANÁLISIS DE DATOS .....	50
3.4.2 TÉCNICAS .....	50
3.4.2.1 ENTREVISTA PERSONAL .....	51
3.4.2.2 ANÁLISIS DE DATOS .....	51
3.5 FUENTES DE INFORMACIÓN.....	51
3.5.1 FUENTES PRIMARIAS .....	52
3.5.2 FUENTES SECUNDARIAS .....	52
3.6 LIMITANTES DEL ESTUDIO .....	52
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	53
4.1 ANÁLISIS DE INDICADORES TÉCNICOS .....	53
4.1.1 MODELO #1 .....	53
4.1.1.1 ANÁLISIS DE CARGA .....	53
4.1.1.2 IRRADIACIÓN SOLAR .....	56
4.1.1.3 PRODUCCIÓN.....	58
4.1.1.4 EFICIENCIA.....	62
4.1.1.5 CONFIABILIDAD .....	63
4.1.1.6 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN.....	63
4.1.2 MODELO #2.....	66
4.1.2.1 ANÁLISIS DE CARGA .....	66
4.1.2.2 DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA SOLAR.....	68
4.2 ANÁLISIS FINANCIERO .....	69
4.2.1 INVERSIÓN .....	69
4.2.2 COSTO DE CAPITAL .....	71
4.2.3 AHORRO .....	71

4.2.4 RENTABILIDAD .....	73
4.2.5 RENTABILIDAD DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO .....	78
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	80
5.1 CONCLUSIONES .....	80
5.2 RECOMENDACIONES .....	81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82
ANEXOS.....	84
ANEXO 1. ENTREVISTA .....	84
ANEXO 2. SIMULACIÓN EN SOFTWARE PV <sub>system</sub> .....	85

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Duración de un día Solar .....	3
Tabla 2. Demanda máxima del Sistema ENEE periodo 2017-2018.....	4
Tabla 3. Cuadro comparativo de las diferentes Tecnologías de Módulos Solares .....	25
Tabla 4. Cuadro comparativo de características eléctricas de paneles solares.....	28
Tabla 5. Matriz Metodológica .....	44
Tabla 6. Operacionalización de las variables Financieras .....	46
Tabla 7. Análisis del perfil de carga.....	56
Tabla 8. Información geográfica.....	56
Tabla 9. Calculo de energía promedio diaria.....	61
Tabla 10. Características generador FV .....	64
Tabla 11. Principales resultados de la Simulación.....	66
Tabla 12. Calculo de energía promedio diaria .....	68
Tabla 13. Tasas de interés vigentes en el sistema financiero nacional .....	71
Tabla 14. Cuadro Resumen sistema conectado a Red .....	74
Tabla 15. Cálculo de rentabilidad sistema conectado a red.....	75
Tabla 16. Cálculo de rentabilidad sistema aislado .....	79

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Factura por Energía Eléctrica Consumida.....	2
Figura 2. Calendario de eventos solares.....	3
Figura 3. Aumento porcentual en energía consumida.....	8
Figura 4. Principales productores de energía renovable en el mundo.....	9
Figura 5. Generación de Energía Renovable vs Energía no renovable.....	10
Figura 6. Capacidad Instalada en MWatts.....	11
Figura 7. Energía Eléctrica Neta Generada (MWh).....	11
Figura 8. Sectores de consumo.....	12
Figura 9. Energía Eléctrica Generada por Sector de consumo.....	12
Figura 10. Energía Eléctrica Neta Generada VS Energía Eléctrica Vendida.....	13
Figura 11. Empresas Privadas dedicadas a desarrollar proyectos fotovoltaicos.....	14
Figura 12. Trayectoria del Sol – tierra.....	15
Figura 13. Declinación del sol en año.....	16
Figura 14. Movimiento aparente del sol.....	17
Figura 15. Altura relativa del sol a lo largo del año.....	18
Figura 16. Duración del día Solar.....	18
Figura 17. Tipos de radiación Solar.....	20
Figura 18. Fococelda Solar.....	22
Figura 19. Panel Solar Policristalino.....	24
Figura 20. Conexión en Serie y Paralelo de módulos Fotovoltaicos.....	27
Figura 21. Catálogo de módulos solares.....	27
Figura 22. Software de diseño PVsyst “Pantalla de inicio”.....	30
Figura 23. Designación del proyecto.....	31
Figura 24. Marco metodológico.....	42
Figura 25. Diagrama de Variables.....	45
Figura 26. Enfoque y Métodos de la investigación.....	48
Figura 27. Histórico de consumo diario en kWh.....	54
Figura 28. Histórico de consumo diario en kWh.....	54
Figura 29. Perfil de carga Usuario #1.....	55
Figura 30. Radiación solar diaria – horizontal.....	57
Figura 31. Mapa Solar.....	57
Figura 32. Ubicación geográfica usuario #1.....	58



Figura 33. Análisis de sombras .....	59
Figura 34. Diagrama de Iso-sombreados.....	60
Figura 35. Producciones normalizadas (kWh/kWp/día).....	65
Figura 36. Histórico de consumo diario en kWh.....	67
Figura 38. Comparación de Consumo de Energía VS Costo de Energía .....	72
Figura 39. Energía total consumida.....	72
Figura 40. Porcentaje de ahorro .....	73
Figura 41. Incremento histórico en tarifas de consumo periodo 2009 - 2018 .....	74
Figura 42. Proyección de Flujos netos en Lps .....	75
Figura 43. Flujos acumulados sin tasa de oportunidad .....	76
Figura 44. Flujos acumulados con tasa de oportunidad del 17% .....	76
Figura 45. Flujos acumulados con tasa de oportunidad del 23% .....	77
Figura 46. Flujos acumulados con tasa de oportunidad del 32% .....	78

# CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se desarrolla la introducción sobre el tema de investigación, explicándose brevemente la estructura del documento de tesis. Se determinó los elementos básicos como son los antecedentes del problema por lo que surgió la investigación para proceder con el planteamiento del problema y las preguntas de investigación, posteriormente se plantearon los objetivos generales y específicos para poder orientar todo el caso de estudio. Para finalizar el capítulo se realizó la justificación por el cual es importante realizar una evaluación técnica y financiera de implementar sistemas solares fotovoltaicos en las zonas residenciales de San Pedro Sula.

## 1.1 INTRODUCCIÓN

La energía solar fotovoltaica es aquella que se produce a partir de la radiación solar, este proceso se logra mediante el efecto fotovoltaico, el cual consiste en la emisión de electrones de un material cuando es iluminado por una fuente electromagnética (Montoya R. Carlos, 2011). Se denomina como, sistema fotovoltaico al conjunto de equipos eléctricos y electrónicos que se conectan entre sí, para generar energía eléctrica a partir de la radiación solar. El principal componente de este sistema es el módulo fotovoltaico, a su vez compuesto por células capaces de transformar la energía luminosa en energía eléctrica de corriente directa. El resto de los equipos depende en gran medida de la aplicación a la que este destinado. A grandes rasgos los sistemas fotovoltaicos pueden clasificarse en tres grandes grupos: Conectados a la red, aislados y de bombeo (Lamigueiro, 2018).

Este proyecto consiste en la evaluación técnica y financiera de la implementación de esta tecnología en el sector residencial de San Pedro Sula, a partir de la comparación de dos tipos de sistemas de generación fotovoltaica (Montoya R. Carlos, 2018):

1) Sistema fotovoltaico interconectado a la red

2) Sistema fotovoltaico aislado

Dentro del sector residencial, el proyecto considera a dos tipos de usuarios, clasificados a partir del consumo de energía en Kilovatio-hora (KWh). Los tipos de usuarios se clasifican en (“Empresa Energía Honduras”, s/f):

1) Consumo menor a 300 kWh

2) Consumo mayor a 300 kWh

Con el fin de determinar la viabilidad técnica y financiera de los sistemas fotovoltaicos instalados en el sector residencial del Valle de Sula. Para cada tipo de usuario, se evaluaron los beneficios económicos potenciales con cada tipo de sistema fotovoltaico. A partir de los perfiles de carga de algunas zonas residenciales de San Pedro Sula (Li, 2018).

## 1.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

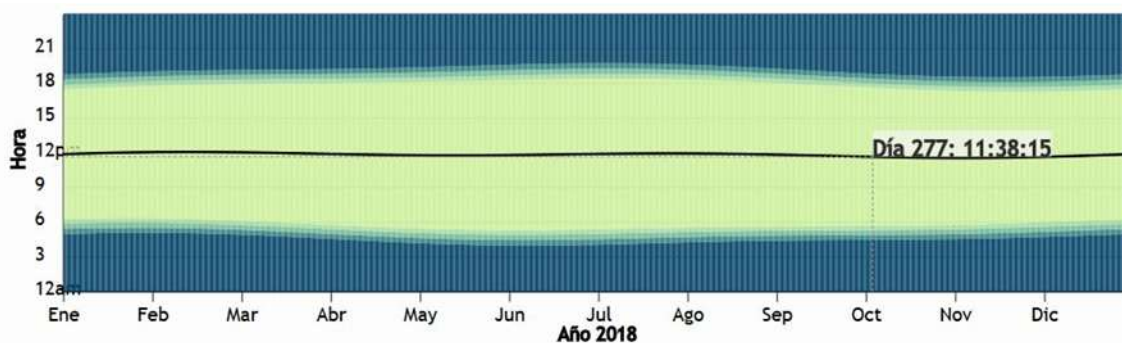
En Honduras las tarifas de Energía Eléctrica son estipuladas por la Comisión Reguladora de Energía Eléctrica (CREE) en base a la fluctuación de la moneda, los precios de los combustibles y sobre todo el comportamiento de los procesos de generación, transmisión y distribución de la energía, entre otros factores que alteran el comportamiento económico general; debido a eso, el precio de la energía debe ser ajustado cada tres meses (“Empresa Energía Honduras”, s/f). Desde que la Empresa Energía Honduras (eeh) inicio operaciones, el precio del Kilovatio-hora ha tenido crecientes incrementos. Siendo el último aumento aprobado el pasado 1 de octubre del 2018; dicho incremento al precio de la energía fue del 18% para los clientes del sector residencial que consuman más de 300 kilovatio-hora, y de un 2% para aquellos con un consumo menor a 300 kilovatio-hora. El incremento será reflejado en las facturas emitidas en el mes de octubre (Empresa Energía Honduras,2018).

FECHA DE LECTURA: 01/10/2018					
FECHA DE RENOVACIÓN: 20/10/2018					
FECHA DE DEPÓSITO DE CANCELACIÓN: 20/10/2018					
CARGO DE FACTURACIÓN: 01					
NOMBRE DE FACTURADO: JIMENA XELI					
DATOS PERSONALES					
NOMBRE: JIMENA XELI					
DIRECCIÓN: JERAR W. CATALDO EL PETENAL					
296	20/MAR/2018	L. 1,195.38			
CÓDIGO DE METER	FECHA DE VENCIMIENTO	TOTAL A PAGAR			
DATOS TÉCNICOS					
NÚMERO DE MEDIDOR: 296000000	TARIFA: 101				
TIPO DE CONSUMO: RESIDENCIAL	TARIFA DE LA TENDÓN:				
IMPACTO: 002-100-010	TENDÓN:				
DIRECCIÓN COMERCIAL: TELICUAL PA	TENDÓN:				
DETALLE DE CONSUMO DE ENERGÍA					
FECHA DE LECTURA ACTUAL: 01/10/2018	FECHA DE LECTURA ANTERIOR: 01/07/2018				
LECTURA ACTUAL (KWH): 2722	CONSUMO (KWH): 306				
LECTURA ANTERIOR (KWH): 2416	MULTIPLICADOR: 1.00				
LECTURA ACTUAL (KWH): 0	CONSUMO (KWH): 0				
LECTURA ANTERIOR (KWH): 0	FACTOR DE POTENCIA: 0				
CÁLCULO DE CONSUMO DE ENERGÍA					
CARGO	LAVAR	CONSUMO	VALOR DE LA ENERGÍA		
PRIMERO DE 0 KWH:	0.027	x	00	=	02.74
MAYOR A 0 KWH:	4.000	x	306	=	1218.40

**Figura 1. Factura por Energía Eléctrica Consumida**

Fuente: (Empresa Energía Honduras, 2018)

Debido a los constantes incrementos en las tarifas de consumo de energía eléctrica, muchas empresas privadas se han dedicado a instalar y diseñar sistemas fotovoltaicos interconectados a la red en locales comerciales y residencias. Con el fin de reducir el costo por energía eléctrica consumida a los diferentes usuarios. Se estima un periodo entre 4 y 5 años, para el retorno de la inversión de sistemas fotovoltaicos conectados a la red que cubran entre el 40 y 60% de la demanda de energía para que sea considerado viable. Dado que, en San Pedro Sula se cuenta con un alto índice de radiación solar gracias a su ubicación geográfica. El día solar promedio en esta ciudad es de 12 horas, según se indica en la Figuras 2.



**Figura 2. Calendario de eventos solares**

Fuente: (“Calendario Solar Año 2018 (Honduras)”, s/f)

La franja color verde mostrada en la figura 2, representa el rango de horas promedio de un día solar a lo largo del año en San Pedro Sula, se observa que el día solar es más largo entre los meses de mayo y agosto, correspondientes a la época de verano. En la tabla 1, se observa que el día solar comienza a las 5:40:05 y termina 17:36:12, durante este periodo de tiempo la energía solar puede ser aprovechada para la generación de energía eléctrica a partir del efecto fotovoltaico.

**Tabla 1. Duración de un día Solar**

2018-10-05		Mediodía Solar	
		Inicio	Final
	Noche	00:00:00	04:28:51
	Amanecer Astronómico	04:28:51	04:53:43
	Amanecer Náutico	04:53:43	05:18:37
	Amanecer Civil	05:18:37	05:40:05
	Salida del Sol	05:40:05	05:42:18
	Día	05:40:05	17:36:12
	Puesta del Sol	17:33:59	17:36:12
	Ocaso Civil	17:36:12	17:57:40
	Ocaso Náutico	17:57:40	18:22:33
	Ocaso Astronómico	18:22:33	18:47:24
	Noche	18:47:24	23:59:59

Fuente: (“Calendario Solar Año 2018 (Honduras)”, s/f)

La ciudad de San Pedro Sula es conocida como la ciudad industrial de Honduras. Título obtenido a partir del establecimiento de parques industriales y otras industrias, donde la mayor parte de la población que vive en el sector residencial y que puede costear la instalación de un sistema fotovoltaico, desarrolla al menos una jornada ordinaria de trabajo. De acuerdo con lo establecido en el código de trabajo, dicha jornada se establece entre las 5:00 am y 7:00 pm, que coincide según se describió anteriormente con la duración del día solar (“Honduras Laboral”, s/f)

Es parte del estilo de vida, de los habitantes de San Pedro Sula, dejar sus viviendas solas o con muy pocas personas, mientras cumplen con su jornada de trabajo. Esto ocasiona que los valores máximos en los perfiles de consumo de los sectores residenciales ocurran durante la noche o a primeras horas de la mañana. Por lo que la energía solar generada durante el día, por un sistema fotovoltaico no puede ser aprovechada por los usuarios o dueños del sistema, en las horas de mayor consumo. Según lo establecido por la Empresa Nacional de Energía Eléctrica en la siguiente tabla.

**Tabla 2. Demanda máxima del Sistema ENEE periodo 2017-2018**

Meses	MW	Fecha	Hora	MW	Fecha	Hora
	2017			2018		
Enero	1.422.5	Jueves 26/01	18:30 p.m	1.449.76	Martes 23/01	18:30 p.m
Febrero	1.501.5	Martes 21/02	18:53 p.m	1.510.15	Martes 20/02	18:59 pm
Marzo	1.528.5	Jueves 30/03	19:05 p.m	1.548.55	Martes 20/03	19:36 p.m
Abril	1.560.5	Lunes 03/04	19:05 p.m	1.601.96	Martes 24/04	19:08 p.m
Mayo	1.542.1	Martes 02/05	19:22 p.m	1.567.98	Martes 29/05	19:13 p.m
Junio	1.537.8	Martes 06/06	19:25 p.m	1.515.63	Jueves 28/06	19:36 p.m
Julio	1.480.6	Lunes 24/07	19:35 p.m	1.538.81	Miércoles 25/07	19:30 p.m
Agosto	1.506.3	Lunes 28/08	18:42 p.m	1.552.30	Martes 21/08	19:14 p.m
Septiembre	1.537.9	Martes 26/09	18:55 p.m	1.549.96	Martes 04/09	19:17 p.-m
Octubre	1.493.9	Martes 17/10	18:20 p.m			
Noviembre	1.442.4	Jueves 02/11	18:25 p.m			
Diciembre	1.404.1	Viernes 08/12	18:24 p.m			
<b>D. Máxima</b>	<b>1,560.5</b>	<b>Lunes 03/04</b>	<b>19:05 p.m</b>	<b>1,602.0</b>	<b>Martes 24/04</b>	<b>19:08 p.m</b>

Fuente: (BOLETIN ESTADISTICO ENEE, 2018)

En la tabla 2, se muestra que la demanda máxima de energía mensual registrada en el año 2017 y en lo que va del año 2018 ocurre entre las 6:00 pm y 8:00 pm de la noche, horas en las que ya no se cuenta con la luz solar.

### 1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

(Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014) Menciona que “definir un problema de investigación no es si no afinar y estructurar más formalmente la idea de la investigación”.

#### 1.3.1 ENUNCIADO DEL PROBLEMA

La energía eléctrica en la actualidad se considera como una necesidad básica, pues el desarrollo de la mayor parte de nuestras actividades depende de su uso. Forma parte de nuestra canasta básica, pero los últimos incrementos en las tarifas de consumo energético dadas en kWh, han generado un gran nivel de inconformidad entre los usuarios, ya que dichos incrementos han obligado a los usuarios de este servicio a buscar alternativas para la generación de energía, gracias a los incentivos creados para la generación de energía limpia o renovable, muchos usuarios del sector residencial han decidido implementar estos sistemas alternos para la generación de energía, con la finalidad de reducir su costo por consumo, sin considerar sus propias necesidades, como ser; las características típicas de su perfil de carga, las características de funcionamiento de los sistemas solares fotovoltaicos, con relación a la curva de generación solar para estimar de forma correcta el porcentaje de ahorro que tendrían con la implementación de estos sistemas, y si obtendrán los beneficios esperados.

#### 1.3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Considerando que la energía solar puede aprovecharse como un medio alternativo para la generación de energía eléctrica y que muchos usuarios del sector comercial e industrial han implementado este tipo de tecnología y han logrado reducir su costo en energía consumida, se pretende entonces responder a la siguiente interrogante:

¿Qué tan viable es desde el punto de vista técnico y financiero la implementación de un sistema fotovoltaico con el fin de reducir el costo por consumo de energía eléctrica, para los usuarios del sector residencial en San Pedro Sula, 2018?

### 1.3.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Con el fin de orientar nuestra investigación hacia los resultados esperados se plantean las siguientes preguntas de investigación:

- 1) ¿Cuáles son los indicadores técnicos requeridos para la implementación de un sistema fotovoltaico para los usuarios del sector residencial de San Pedro Sula?
- 2) ¿Cuál es el costo beneficio de la implementación de un sistema fotovoltaico para los usuarios del sector residencial en San Pedro Sula?

### 1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO

(Hernández Sampieri et al., 2014) Afirma: “Los Objetivos de investigación Señalan a lo que se aspira en la investigación y deben expresarse con claridad, pues son las guías del estudio y se deben de tener presentes en el desarrollo de toda la investigación” (p. 37).

#### 1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Con el propósito de validar que la implementación de los sistemas fotovoltaicos en zonas residenciales de San Pedro Sula puede ser utilizado como un medio de ahorro en el consumo de energía. Este proyecto pretende en primer lugar; “Evaluar la viabilidad técnica y financiera de implementar un sistema solar fotovoltaico para los usuarios del sector residencial de San Pedro Sula.”

#### 1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A continuación, se detallan los objetivos específicos del presente estudio:

- 1) Identificar los indicadores técnicos requeridos para la implementación de un sistema fotovoltaico para los usuarios del sector residencial de San Pedro Sula.
- 2) Determinar el costo beneficio de la implementación de un sistema fotovoltaico para los usuarios del sector residencial en San Pedro Sula.

## 1.5 JUSTIFICACIÓN

Basados en que la energía solar es un tipo de energía limpia, amigable con el ambiente, los sistemas fotovoltaicos se han convertido en una opción sostenible para la generación de energía en lugares que cuentan con una abundante radiación solar (Li, 2018). Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red han tenido una gran aceptación debido a: los crecientes aumentos asociados al consumo de energía eléctrica en kilovatios - hora, los diversos incentivos para la generación de energía limpia, con el fin de reducir las emisiones de carbono (CO<sub>2</sub>) y la considerable disminución en los costos de implementación de esta tecnología (“IEEE POWER & ENERGY”, s/f) y a que los sistemas fotovoltaicos inyectan potencia eléctrica al sistema de distribución (carga) al que se conectan, ocasionando una reducción al costo por consumo de energía eléctrica a aquellos usuarios que disponen de este tipo de tecnología (Li, 2018).

La estimación en la reducción en el costo por consumo, así como la rentabilidad de los sistemas fotovoltaicos no puede considerarse como un hecho generalizado, pues esta dependerá de las necesidades de cada usuario, que pueden variar de acuerdo con los siguientes parámetros (Peralta Jaramillo, Delgado Plaza, Benitez, Neira, & Aveiga Ulloa, 2016);

- 1) Ubicación geográfica
- 2) Radiación solar por metro cuadrado
- 3) Orientación del techo
- 4) Angulo de Inclinación del techo
- 5) Energía promedio consumida por día
- 6) Perfil de carga
- 7) Obstáculos y/o sombras.

Dentro de este orden de ideas, el fin nuestro proyecto es evaluar a través de un análisis técnico las características típicas utilizadas en la construcción de las viviendas, con un perfil socioeconómico medio – alto de San Pedro Sula, para evaluar el cumplimiento de los parámetros antes citados. Así como el requerimiento de energía que deben cubrir los sistemas fotovoltaicos; considerando las limitaciones que tiene cada hogar con respecto al uso de aparatos eléctricos y capacidad de generación del sistema solar en el mes en donde recibe el menor índice de radiación solar. Para determinar alternativas de diseño óptimos para la captación de energía solar y así determinar la viabilidad financiera de estos sistemas en el sector residencial (Peralta Jaramillo et al., 2016).



## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

Una vez que se cuenta con el planteamiento y justificación del problema de investigación, se procede al sustento teórico del presente estudio con el objeto de conocer los estudios anteriores que han profundizado en la problemática y situación actual de los sistemas fotovoltaicos, para lo anterior se tomó en consideración diversos factores como ser, el macro entorno, micro entorno y un análisis interno, las conceptualizaciones y perspectivas teóricas, con el fin de establecer los alcances, relevancia y variables del problema. Siendo necesarios los temas antes mencionados para poder tener una visión general de la investigación desde una perspectiva amplia y sustentada, por medio de la teoría.

### 2.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

La demanda de energía eléctrica está en aumento y, a medida que las preocupaciones ambientales se hacen más apremiantes, también lo hace el enfoque en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto ha provocado un cambio en la matriz energética de cada país, basado en la implementación de un gran volumen de fuentes renovables variables para la generación de energía. De hecho, en todo el mundo los gobiernos están fomentando el desarrollo y despliegue de los sistemas solares fotovoltaicos (“World Energy Consumption Statistics | Enerdata”, 2018).



**Figura 3. Aumento porcentual en energía consumida**

Fuente: (“World Energy Consumption Statistics | Enerdata”, 2018)

### 2.1.1 ANÁLISIS DEL MACRO-ENTORNO

La generación de energía eólica y solar ha cobrado impulso, debido a las ambiciosas políticas climáticas en la Unión Europea, Estados Unidos, China, India, Japón y Australia, y por la dramática caída en los costos de instalación de los sistemas solares y eólicos, permitiendo a los países en desarrollo expandirse. En dichos países la energía solar fue responsable del 20% de la generación de energía total en el 2017. Las energías renovables ahora cubren 1/3 de la combinación de potencia en Europa, 1/4 en China y 1/6 en los Estados Unidos, India y Japón, según se detalla en la siguiente ilustración (“World Energy Consumption Statistics | Enerdata”, 2018).

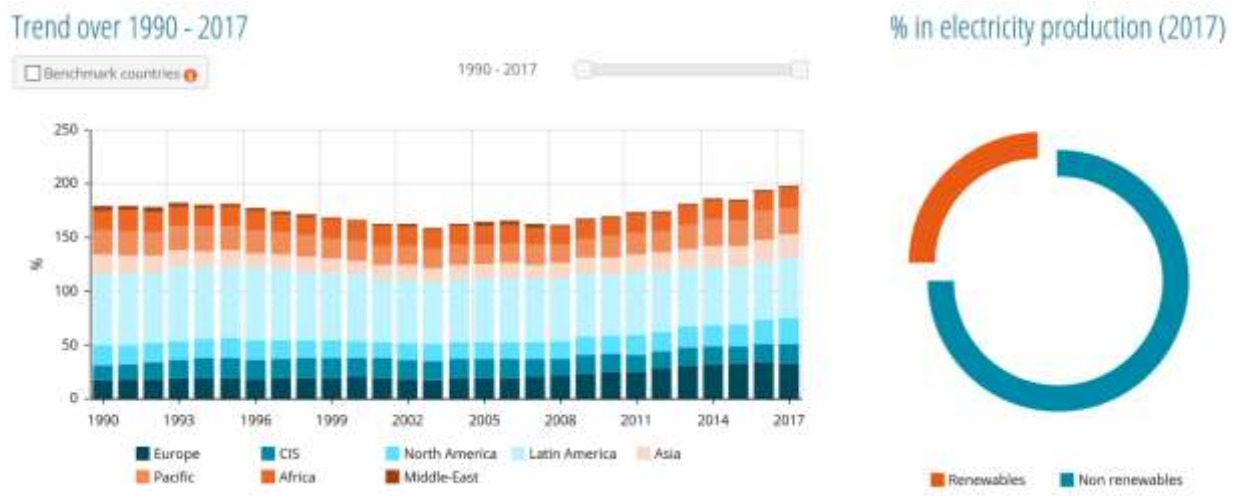


**Figura 4. Principales productores de energía renovable en el mundo**

Fuente: (World Energy Consumption Statistics | Enerdata, 2018)

La conciencia generalizada de los efectos del cambio climático causados a partir del abuso de los combustibles fósiles ha sido el auténtico motor para el desarrollo de las energías renovables. En la Figura 4, se muestran países que han logrado cubrir el 60% o más de su matriz energética a base de recursos renovables o sostenibles contribuyendo con la reducción de los gases de efecto invernadero. La figura 5, presenta una proyección del crecimiento en el uso de fuentes renovables para la generación de energía eléctrica, y como la implementación de las energías renovables alcanzó en el año 2017 un crecimiento del 25% en la matriz energética global (“World Energy Consumption Statistics | Enerdata”, 2018).

En dicha figura las tonalidades frías o azules representan la generación de energía eléctrica a través de combustibles fósiles o no renovables, las tonalidades cálidas o anaranjadas representan la generación de energía eléctrica renovable o limpia.



**Figura 5. Generación de Energía Renovable vs Energía no renovable**

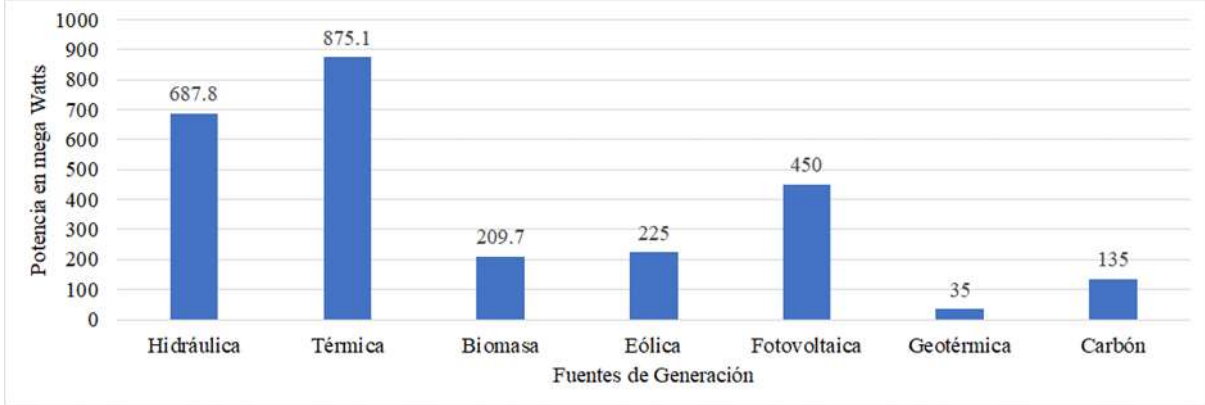
Fuente: (“World Energy Consumption Statistics | Enerdata”, 2018)

Las regiones del Pacífico, África, Asia y Oriente medio encabezan la lista como principales productores de energía eléctrica a partir de fuentes renovables.

### 2.1.2 ANÁLISIS DEL MICRO-ENTORNO

En Honduras la energía renovable ha logrado consolidarse como la principal fuente de generación, cambiando la matriz energética del país a un 67 por ciento renovable contra un 33 por ciento de energía térmica en carga inesa. Este cambio se ha logrado en los últimos 10 años cuando entraron al sistema interconectado nacional las plantas de generación por Biomasa, Geotérmica, Eólica y Fotovoltaica con las que se logró sobrepasar a la energía térmica, la cual por generaciones había consolidado su homogeneidad en el territorio nacional (“Matriz Energética”, 2018). En Honduras, el 17 por ciento, de la capacidad instalada en megavatios, para la generación de energía eléctrica a agosto del 2018 se obtiene a partir del recurso solar, dicho porcentaje equivale 450.0 MW de energía según se muestra en la figura 8.

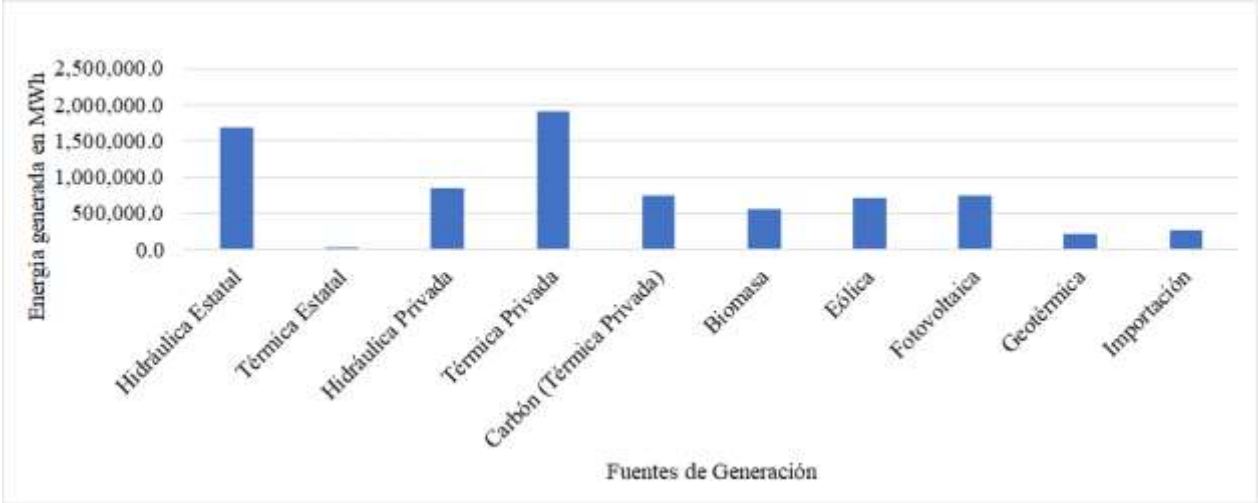
Esa porción de energía se obtiene del total instalado en las plantas solares privadas que operan en el país, como ser; Marcovia, Cohessa/Soposa, Fotersa y Proderssa (Matriz Energética, 2018).



**Figura 6. Capacidad Instalada en MWatts**

Fuente: (BOLETIN ESTADISTICO ENEE, 2018)

Se presenta también a septiembre del 2018, el total neto acumulado de energía eléctrica generada en megavatios-hora, en el Sistema Interconectado Nacional (SIN) según se muestra en la figura 6.

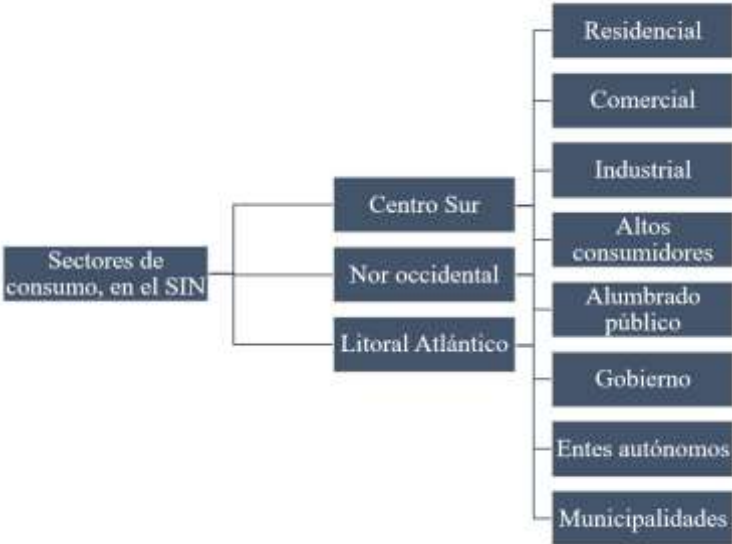


**Figura 7. Energía Eléctrica Neta Generada (MWh)**

Fuente: (BOLETIN ESTADISTICO ENEE, 2018)

En la Figura 7, se observa que del total neto de energía generada el 61.69% ha sido generado a través de fuentes renovables, y que dentro de este porcentaje el 9.62% de esta energía se ha generado mediante la energía solar fotovoltaica. La Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE), separa a los diferentes usuarios que se conectan al sistema interconectado

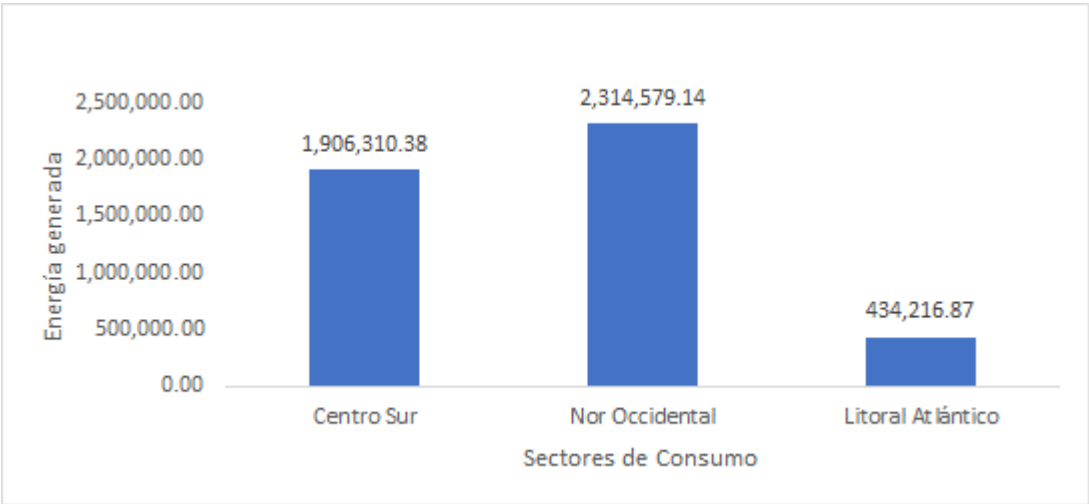
nacional (SIN), en tres sectores de consumo de acuerdo con la ubicación geográfica, y a esto los agrupa en categorías en función de su perfil de consumo, o por el tipo de institución, según se muestra en la figura 7. (“Matriz Energética”, 2018)



**Figura 8. Sectores de consumo**

Fuente: (BOLETIN ESTADISTÍCO ENEE, 2018)

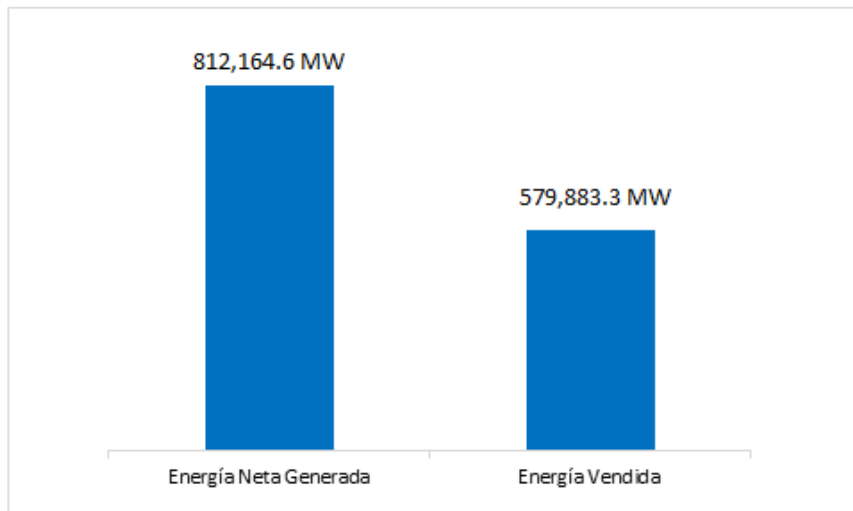
De acuerdo con la clasificación por sectores de consumo, presentada en la figura anterior podemos presentar a manera de resumen, el total neto de la energía eléctrica que se ha vendido en el SIN hasta septiembre del 2018 por sectores de consumo, según se muestra en la figura 9.



**Figura 9. Energía Eléctrica Generada por Sector de consumo**

Fuente:(BOLETIN ESTADISTÍCO ENEE, 2018)

Realizando un breve análisis de la información presentada en las figuras 7 - 9, anteriormente descritas, se observa que, del total neto de energía eléctrica generada en el país, únicamente se vende el 71.40% en el sistema Interconectado Nacional se muestra en la figura 10.



**Figura 10. Energía Eléctrica Neta Generada VS Energía Eléctrica Vendida**

Fuente:(BOLETIN ESTADÍSTICO ENEE, 2018)

### 2.1.3 ANÁLISIS INTERNO

En San Pedro Sula, la empresa privada ha desarrollado pequeños proyectos de generación de energía eléctrica para autoconsumo con la finalidad de reducir el costo por energía consumida. En la figura 11, se mencionan algunas empresas que se dedican al diseño, construcción y gestión de proyectos, destinados a la producción de energía eléctrica a partir de la radiación solar.



**Figura 11. Empresas Privadas dedicadas a desarrollar proyectos fotovoltaicos**

Fuente: Internet, 2018

San Pedro Sula, se ha convertido en un centro de referencia empresarial como pionero en la generación distribuida a partir de fuentes renovables, debido a la inauguración del proyecto solar sobre techos más grande de Latinoamérica, realizada en marzo del 2015. Dicho proyecto fue desarrollado por La Embotelladora de Sula S.A. (Emsula) con financiamiento del BID y contribuirá con tres Megavatios de energía solar a su instalación para (“Emsula inaugura proyecto innovador de energía solar financiado por el BID | IADB”, 2018).

En búsqueda de una forma alterna para la producción de energía, como un medio de respuesta frente a los frecuentes incrementos del costo de energía, muchos usuarios del sector comercial e industrial; entre ellos dueños de hoteles, restaurantes, supermercados, gasolineras, panaderías y algunos usuarios del sector residencial, se han interesado en los sistemas solares fotovoltaicos, como una fuente de ahorro energético.

## 2.2 TEORÍA DE SUSTENTO

A continuación, se presentan las principales teorías que facilitan el conocimiento para sustentar las bases del presente estudio de viabilidad.

### 2.2.1 GEOMETRÍA SOLAR

El movimiento terrestre se compone de una traslación alrededor del Sol y un giro sobre su eje. En el movimiento de traslación la Tierra se desplaza alrededor del Sol siguiendo una elipse de baja excentricidad en la que el Sol ocupa uno de los focos. La duración de este movimiento define un año. Este movimiento está contenido en el llamado plano de la eclíptica, según se muestra en la figura 12 (Lamigueiro, 2018).



**Figura 12. Trayectoria del Sol – tierra**

Fuente: (“Atmosfera y clima”, 2018)

En el movimiento de giro la Tierra rota sobre si misma alrededor de su eje polar, perpendicular al plano ecuatorial terrestre. Entre el eje polar y el plano de la eclíptica hay un ángulo constante de 23,45°. Sin embargo, el ángulo entre el plano ecuatorial y la línea que une Tierra y Sol es variable a lo largo del año. Este ángulo variable es la causa de las estaciones, de que el Sol aparezca más alto en los mediodías veraniegos y los días invernales sean más cortos que los de verano. Este ángulo se denomina declinación y puede ser calculado de forma aproximada con la ecuación (Lamigueiro, 2018);

$$\delta = 23,45^\circ \cdot \sin \left( \frac{2\pi \cdot (d_n + 284)}{365} \right)$$



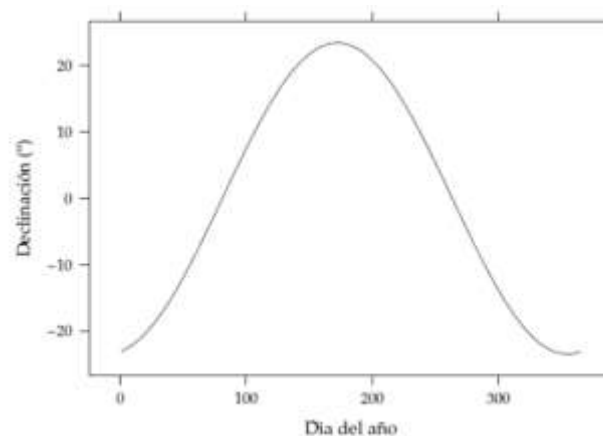
En esta ecuación se supone que la declinación permanece constante a lo largo de un mismo día. Otros autores han perfeccionado las ecuaciones anteriores. Son destacables las aportaciones de Spencer, Michalsky y Strous [Spe71; Mic88; Str11]. Como ejemplo, se detalla a continuación la propuesta de Spencer (con el resultado en radianes) (Lamigueiro, 2018).

$$x = \frac{2\pi(d_n - 1)}{365}$$

$$\theta = 0.006918 - 0.399912 * \cos(X) + 0.070257 * \sin(X) - 0.006758 * \cos(2X) + 0.000907 * \sin(2X) - 0.002697 * \cos(3X) + 0.001480 * \sin(3X)$$

$$\epsilon_0 = 1.000110 + 0.034221 * \cos(X) + 0.001280 * \sin(X) + 0.000719 * \cos(2X) + 0.000077 * \sin(2X)$$

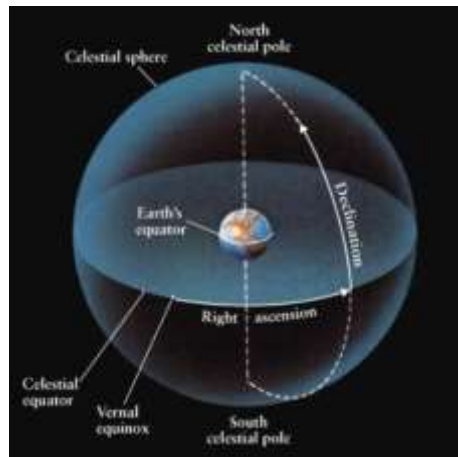
El valor de la declinación toma ciertos valores característicos que definen las estaciones y sus fechas de transición. En los equinoccios la declinación es nula, de forma que el Sol amanece y anochece exactamente por el Este y Oeste, respectivamente, siendo equivalentes la duración de día y noche. En el solsticio de junio (21-22 junio, día del año 172-173) la declinación toma el valor  $d = 23,45^\circ$ . En el hemisferio Norte es llamado de verano, produciéndose aquí el día más largo del año con el Sol amaneciendo por el noreste y anocheciendo por el noroeste. En el solsticio de Diciembre (21-22 diciembre, día del año 355-356) la declinación toma el valor  $d = -23,45^\circ$ . En el hemisferio Norte este solsticio es denominado de invierno, ocurriendo el día más corto, con el Sol amaneciendo por el sureste y anocheciendo por el suroeste. Según se muestra en la figura 13 (Lamigueiro, 2018).



**Figura 13. Declinación del sol en año**

Fuente: (Lamigueiro, 2018)

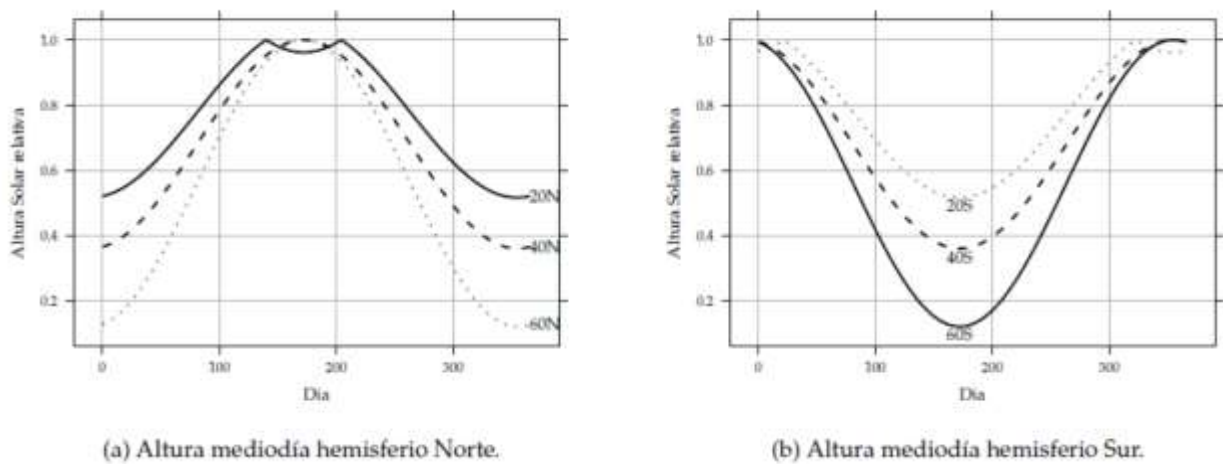
El movimiento combinado que realiza la Tierra es percibido como un movimiento aparente del Sol (Ver figura 14) a través de la esfera celeste respecto a la superficie terrestre. Este movimiento aparente puede ser descrito mediante ecuaciones vectoriales referidas a dos sistemas de referencia, uno ligado a los ejes terrestres y otro a los ejes locales.



**Figura 14. Movimiento aparente del sol**

Fuente: (“Astro.uchile”, 2018)

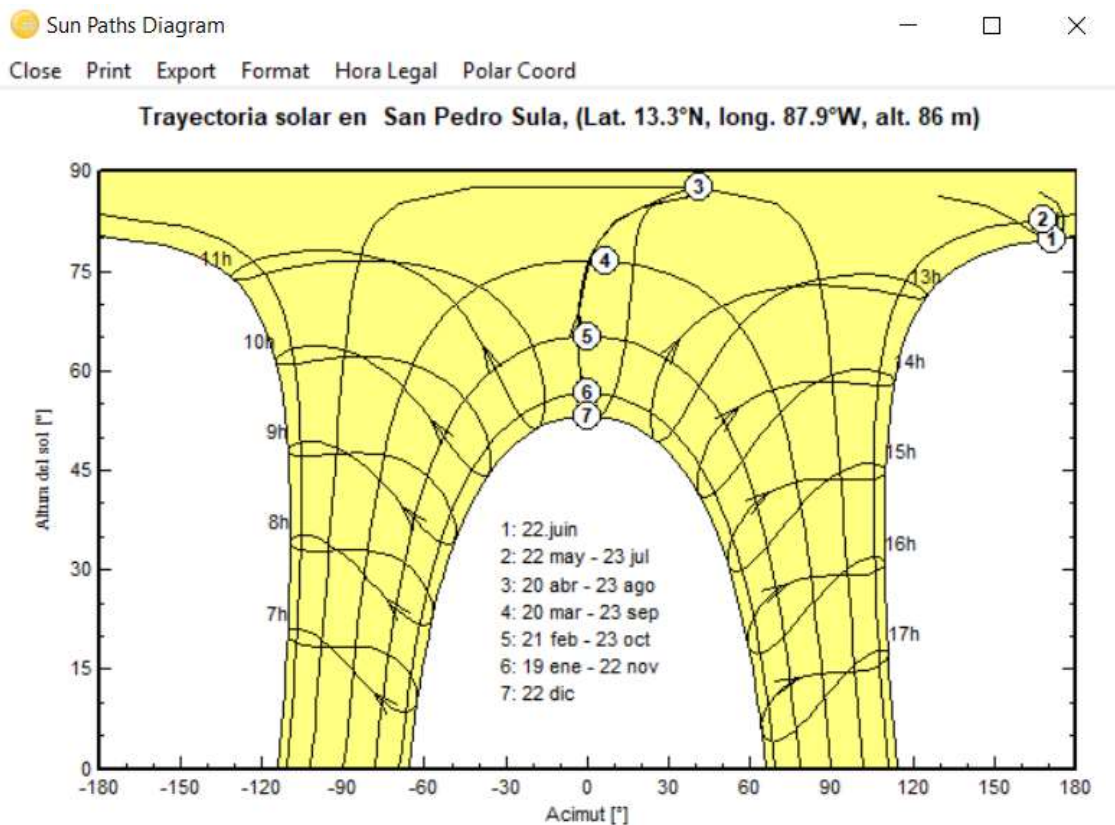
Para deducir el movimiento solar respecto a generadores fotovoltaicos, se considera que el vector solar depende ahora de la latitud, el ángulo de declinación terrestre y la hora solar. Y que estos están estrechamente relacionados con los ángulos cenitales y azimutal. Para obtener el valor del ángulo azimutal se debe situar la proyección del sol en el cuadrante correcto. La función arco coseno permite decidir entre el primer y segundo cuadrante, o entre tercer y cuarto cuadrante, pero no es capaz de discriminar entre el primer y cuarto cuadrante (o entre el segundo y tercer cuadrante). Esta diferencia se resuelve sabiendo si el sol ha atravesado ya la línea del mediodía (primer y segundo cuadrante) o aún no (tercer y cuarto cuadrante). Para resolver este problema se recomienda combinar la función del arco coseno aplicado a la figura 14, junto con el signo de la hora solar. En la figura 15 se representa la altura solar al mediodía a lo largo del año en localidades de los dos hemisferios. Para apreciar la variación de este ángulo con la latitud la altura está normalizada con el valor máximo anual de este ángulo en cada localidad. Así, la diferencia entre la altura solar de los meses invernales y la de los meses veraniegos es más apreciable para las localidades alejadas del Ecuador (Lamigueiro, 2018).



**Figura 15. Altura relativa del sol a lo largo del año**

Fuente: (Lamigueiro, 2018)

La duración de un día cualquiera depende del día del año a través de la declinación y del lugar de la superficie terrestre a través de la latitud. Según se muestra en la figura 16.



**Figura 16. Duración del día Solar**

Fuente: ("PVGraph1.BMP", 2018)

La potencia entregada por un generador fotovoltaico es mayor en cuanto mayor sea el nivel de radiación efectiva incidente en el mismo. El cálculo de la radiación efectiva incluye las pérdidas por reflexión, efecto relacionado con el ángulo formado entre la línea que une el generador con el sol y la perpendicular al plano del módulo. Cuanto mayor es este ángulo, mayor es la radiación reflejada. Teniendo en cuenta que la radiación directa es, en general, proporcionalmente superior a la radiación difusa, y que las pérdidas por reflexión disminuyen si el apuntamiento al sol mejora, se diseñan los sistemas de seguimiento solar. Su objetivo común es reducir el ángulo formado entre el vector solar y el vector director del plano generador a lo largo del movimiento celeste del sol. Las diferentes técnicas de seguimiento buscan concretar este objetivo general sacrificando un apuntamiento perfecto en aras de conseguir sistemas estructurales más económicos y mejores aprovechamientos del terreno (Lamigueiro, 2018).

### 2.2.2 CÁLCULO DE LA IRRADIANCIA SOLAR

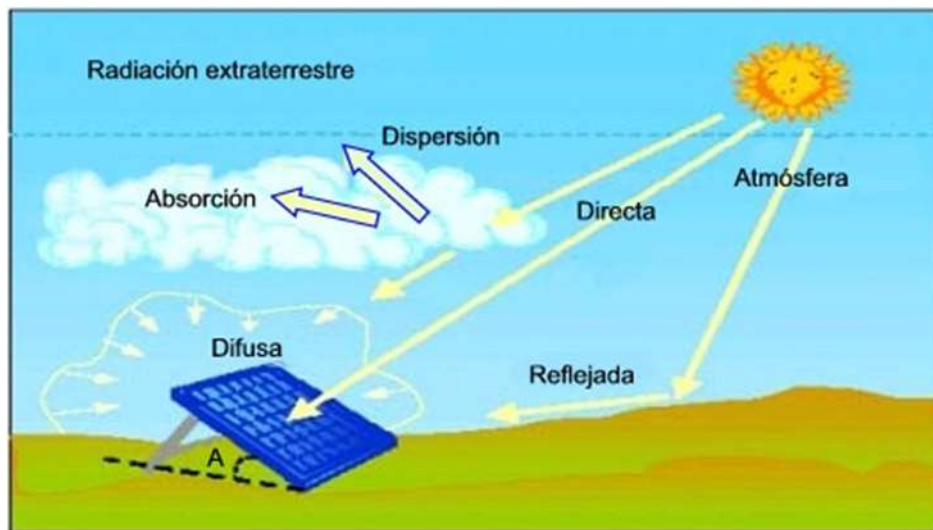
Para el dimensionamiento y colocación de los paneles solares es imprescindible un conocimiento de la radiación solar y la posición con respecto al sol del lugar. La radiación emitida por el Sol atraviesa el espacio vacío en todas direcciones. No sufre pérdidas apreciables por interacción con medios materiales. Sin embargo, es atenuada de acuerdo con el cuadrado de la distancia. Dada la relación entre la distancia con el Sol y el tamaño de nuestro planeta, es razonable asumir que su valor es constante en toda la superficie exterior de nuestra atmósfera. Debido a la geometría solar, la distancia entre la Tierra y el Sol varía a lo largo del año debido a la excentricidad de la elipse. Esta variación influye en la irradiancia solar que alcanza la atmósfera (Lamigueiro, 2018).

A su paso por la atmósfera, la radiación solar es sometida a una combinación de procesos de reflexión, atenuación y difusión que alteran sus características. La reflexión en las nubes disminuye la radiación incidente en la superficie terrestre mientras que la absorción por vapor de agua, ozono y CO<sub>2</sub> produce una modificación de las características espectrales de la radiación. Además, la dispersión por partículas modifica la distribución espacial de la radiación. Dependiendo del tamaño de la partícula en interacción pueden distinguirse tres fenómenos de difusión (Lamigueiro, 2018):

- 1) **Difusión de Rayleigh**, donde la longitud de onda es mucho mayor que el tamaño de la partícula se produce en las capas altas y es responsable del color azul del cielo.

- 2) **Difusión de Mie**, donde la longitud de onda es de magnitud similar al tamaño de la partícula. Se produce en las capas bajas de la atmósfera.
- 3) **Difusión no selectiva**, aquella en la que la longitud de onda es mucho menor que el tamaño de la partícula.

Para el cálculo de la irradiancia solar que finalmente incide en una superficie arbitraria localizada en corteza terrestre será útil distinguir tres contribuciones diferentes, Ver figura 17. Estas contribuciones, comúnmente denominadas componentes, son (Lamigueiro, 2018);



**Figura 17. Tipos de radiación Solar**

Fuente: (MBA News, 2018)

En la figura 17 podemos observar a través de la imagen los tipos de radiación que el sol genera al momento de establecer contacto con los paneles solares. A continuación, se describe cada tipo de radiación descrito en la figura 17;

- 1) **Radiación Directa, B:** representa la fracción de irradiancia procedente en línea recta del Sol.
- 2) **Radiación Difusa, D:** cuantifica la radiación procedente de todo el cielo salvo del Sol, y por tanto incluye todos los rayos dispersados por la atmósfera según los procesos descritos. Es una radiación anisotrópica, cuyo valor depende de la zona celeste de procedencia. Más aún, dado que las propiedades de la atmósfera varían de forma aleatoria con el tiempo, la radiación difusa deberá ser estudiada como un proceso estocástico.

- 3) **Radiación del albedo, R o AL:** es aquella fracción de radiación procedente de la reflexión en el suelo. Habitualmente supone una contribución muy pequeña y en algunos casos puede ser despreciada.

La suma de estas tres componentes constituye la denominada irradiancia global (G),

$$G = B + D + R$$

El comportamiento de la radiación solar incluye en su expresión la forma de cada componente de la irradiancia o irradiación, el instante o período en el que se recibe, el período de promedio de los valores y el lugar de incidencia. Para expresar el lugar de incidencia caben las siguientes posibilidades (Lamigueiro, 2018);

- 1) Orientación, Inclinación
- 2) Horizontal
- 3) Superficie perpendicular al vector solar
- 4) En el plano generador

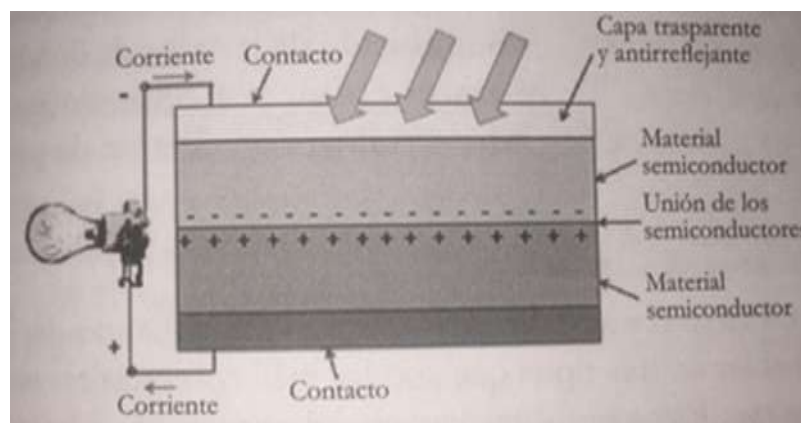
### 2.2.3 TEORÍA DE LOS SEMICONDUCTORES: LA CÉLULA SOLAR

Hoy en día, una de las formas más convenientes de producir energía eléctrica de forma sostenible es utilizando celdas solares, que aprovechan el efecto fotovoltaico para producir electricidad directamente desde la luz solar. Aunque los inicios de transformar la luz del sol en energía eléctrica se remontan al primer cuarto del siglo XIX, no fue sino hasta después de mediados del siglo XX con los avances de los sistemas electrónicos que empezó a explotarse esta tecnología (Piñon Rizo, 2014)

Una de las primeras aplicaciones importantes que tuvieron las celdas solares fue proporcionar energía a los satélites y gracias a ellos e pudieron enviar al espacio. Se esperaba que se mantuvieran funcionando al menos por 20 años. Cuando se habla de producción de energía solar, la forma en que se obtienen no puede ser desde un nivel pequeño hasta un nivel macro, por eso es necesario conocer la terminología que existe en cuanto a las diferentes formas en que se pueden presentar los equipos solares (Piñon Rizo, 2014, p. 49)

La célula solar también llamada celda, fotocélula solar fotovoltaica, es un elemento electrónico con el que podemos transformar la luz del sol (fotones) en energía eléctrica (flujo de electrones). Esto se produce mediante el llamado efecto fotoeléctrico. En la célula absorben fotones de luz y se emiten electrones. Cuando estos electrones libres son capturados, el resultado es una corriente eléctrica. La eficiencia de conversión media de las células está alrededor del 16 % pudiendo llegar a 22 % con las células de silicio mono cristalino (Este 22% es un rendimiento obtenido en laboratorio, en la realidad las de mayor eficiencia en el mercado apenas superan 19%). La media de vida útil de una célula solar ronda los 25 años, período a partir del cual la potencia entregada disminuye por debajo de un valor considerable (Lamigueiro, 2018).

El material que más se utiliza en la fabricación de las fotoceldas es el silicio. La forma más simple de fabricar una celda solar es con la unión de dos materiales semiconductores, al que le agrega cierta cantidad de otros materiales que se llaman contaminantes. Cuando la luz pasa a través del materia transparente y llega a uno de los semiconductores, los electrones contenidos ahí adquieren tal cantidad de energía que son capaces de desprenderse de sus átomos correspondientes y llegar hasta el otro semiconductor, este proceso es suficiente para generar una diferencia de potencial, tal y como se muestra en la figura 18 (Piñon Rizo, 2014).



**Figura 18. Fotocelda Solar**

Fuente: (Piñon Rizo, 2014)

Algunos datos técnicos importantes que se deben conocer de las celdas solares son, por ejemplo, que una celda solar produce aproximadamente 0.5 volts cuando recibe luz solar y que una celda policristalina de 15cmx15cm con 15% de eficiencia genera 3.4watts cuando está a pleno sol. Para llegar a tener una celda, tal y como se conocen en la actualidad, se lleva a cabo un proceso muy minucioso que empieza con la purificación de la arena de donde se obtiene el silicio, se pasa a la fabricación de trozos grandes del mismo material con los contaminantes ya mencionados para terminar con el corte de pequeñas celdas (Piñon Rizo, 2014, p. 49).

### 2.2.3.1 CLASIFICACIÓN DE LAS CELDAS SOLARES:

Los tipos de fotoceldas en cuanto a su fabricación van evolucionando día a día. Actualmente se puede hablar de tres tipos que son las más comerciales: monocristalinas, policristalinas, y amorfas. Estos nombres vienen del proceso de fabricación de los cristales de silicio y de la eficiencia que tiene cada una de ellas. Las monocristalinas y policristalinas poseen una eficiencia muy similar y superior si se les compara con las amorfas. El termino eficiencia en las celdas solares es muy importante, ya que es la capacidad que tienen de transformar la luz del sol en electricidad y es este un factor por el cual en la actualidad sigue siendo un sistema caro para ser utilizado por público en general como un medio de atenuar los costos excesivos de consumo de energía eléctrica (Piñon Rizo, 2014, p. 50).

#### 2.2.3.1.1 CELDAS MONOCRISTALINAS

Se fabrican por medio de un proceso largo y delicado y las láminas son de una gran pureza, Durante la fabricación, el silicio se somete a temperaturas de hasta 1400 C y se le agrega un poco de boro. El proceso dura aproximadamente 8 horas y se obtiene el cristal tipo p (carente de electrones). El método de obtención se conoce como Czochralski. Este proceso requiere una gran cantidad de energía por lo que hace que su costo sea elevado. Su eficiencia varía de un 14% a un 18% y son las más fabricadas en nivel mundial. Se pueden obtener en color azul o negro. Las primeras celdas de este tipo tenían forma redonda, pero en la actualidad tienen esquinas con vértices de 45° (Piñon Rizo, 2014, p. 50)

Cada celda de estas tiene un par de contactos para obtener la electricidad. Dichos contactos se fabrican de cobre, aluminio o plata, aunque en la actualidad es común que sean de algún material Seri gráfico por un bajo costo. Cada par de contactos se conectan a otros contactos principales que serán la salida del panel completo.



### 2.2.3.1.2 CELDAS POLICRISTALINAS

“Su método de fabricación permite que sean más baratas que las monocristalinas y al mismo tiempo hacen que su color no sea uniforme. Esta falta de uniformidad es la causante que tenga algunas imperfecciones en su estructura, lo que impacta en su eficiencia para convertir la luz solar en electricidad; esta es de entre 12% y 12.5%, lo que significa que un metro de paneles expuesto a la luz adecuada, pueden producir desde 120W a 125W. Se fabrican de una reutilización de piezas monocristalinas y debido a que son más baratas, su utilización está muy expandida. Estas celdas son cuadradas porque así lo requiere su fabricación y esto ayuda a tener una menor superficie de colocación para colocar cierta cantidad de celdas. Al igual que las monocristalinas, las policristalinas se agrupan para formar paneles según se muestra en la figura 19” (Piñon Rizo, 2014, p. 51).



**Figura 19. Panel Solar Policristalino**




Fuente: (Piñon Rizo, 2014)

En la figura 19 se puede visualizar la forma de un módulo fabricado con celdas policristalinas.

### 2.2.3.1.3 CELDAS AMORFAS

Pertencen a la tecnología llamada de láminas delgadas y son una forma de silicio no cristalino que tienen defectos en nivel atómico. A este tipo de silicio se le agrega cierta cantidad de hidrógeno que tiende a saturar espacios de la red cristalina, permitiendo la movilización de los electrones a través del silicio. Las celdas se obtienen colocando el silicio sobre un sustrato que puede ser vidrio o plástico y que dan un color café. Debido a lo simple y barato de su fabricación son muy populares, pero son de baja eficiencia comparadas con las cristalinas, tan solo convierten alrededor de 6.5% de la luz solar en electricidad, pero tienen ventajas que se deben considerar: son más baratas, son muy delgadas, ligeras y flexibles, responden mejor ante las sombras y reflejos y ante la elevación de temperatura. Además, se pueden llevar a tecnologías en forma de pintura y cristal traslucido. Se utilizan donde se requiere una alternativa más económica o es necesaria una menor cantidad de electricidad, por ejemplo en calculadoras o relojes (Piñon Rizo, 2014, p. 52).

**Tabla 3. Cuadro comparativo de las diferentes Tecnologías de Módulos Solares**

Tecnología	Eficiencia Laboratorio	Eficiencia directa	Características	Apariencia Física
Monocristalina	24%	15 a 18%	Son típicos los azules homogéneos y la conexión de celdas entre sí.	
Policristalina	19 a 20%	12 a 14%	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	
Amorfa	16%	Menor a 10%	Tiene color marrón y no existe conexión visible entre celdas.	

Fuente: (Piñon Rizo, 2014)

La tabla 3 muestra la eficiencia de cada uno de los módulos, según el tipo de celda utilizada en su fabricación.

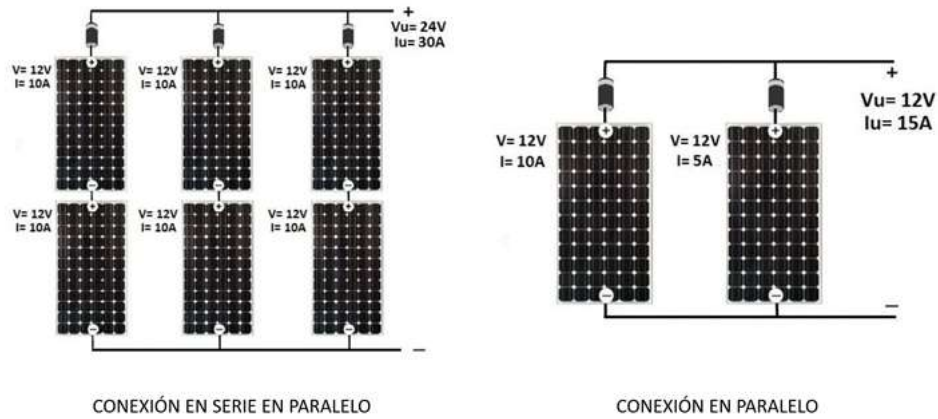
### 2.2.3.2 CONEXIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Las características eléctricas de una célula no son suficientes para alimentar las cargas convencionales. Es necesario realizar agrupaciones en serie y paralelo para entregar parámetros tensión y corriente adecuados. Un módulo fotovoltaico es una asociación de células a las que protege físicamente de la intemperie aísla eléctricamente del exterior, dando rigidez mecánica al conjunto. Existen multitud de módulos diferentes, tanto por su configuración eléctrica como por sus características estructurales y estéticas. En general, la asociación de células es encapsulada en dos capas de EVA (etileno-vinilo-acetato), entre una lámina frontal de vidrio y una capa posterior de un polímero termoplástico (frecuentemente se emplea el tedlar) u otra lámina de cristal cuando se desea obtener módulos con algún grado de transparencia. Muy frecuentemente este conjunto es enmarcado en una estructura de aluminio anodizado con el objetivo de aumentar la resistencia mecánica del conjunto y facilitar el anclaje del módulo a las estructuras de soporte (Lamigueiro, 2018).

El vidrio frontal debe tener y mantener una alta transmisividad en la banda espectral en la que trabajan las células solares. Además, debe tener buena resistencia al impacto y a la abrasión. Su superficie debe ser de forma que combine un buen comportamiento anti reflexivo con la ausencia de bordes o desniveles que faciliten la acumulación de suciedad o dificulten la limpieza de ésta mediante la acción combinada del viento y la lluvia. Frecuentemente se emplea vidrio templado con bajo contenido en hierro con algún tipo de tratamiento anti reflexivo. El encapsulante a base de EVA, combinado con un tratamiento en vacío y las capas frontal y posterior, evita la entrada de humedad en el módulo, señalada como la causa principal de la degradación a largo plazo de módulos fotovoltaicos. Además, esta combinación permite obtener altos niveles de aislamiento eléctrico (Lamigueiro, 2018).

La asociación de células solares en una misma estructura permite obtener voltajes y corrientes mayores a los obtenidos en una célula solar individual, estas asociaciones se logran haciendo uso de conexiones eléctricas básicas, es decir conexiones en serie y en paralelo. Por ejemplo, si lo que desea es tener un voltaje constante e incrementar la capacidad de la corriente eléctrica, entonces se conectan varios paneles en paralelo.

Por otro lado, si se busca mantener una corriente constante y obtener un voltaje mayor, entonces se tendrá que realizar una conexión en serie. En la figura 22, se ilustra cada tipo de conexión descrita;



**Figura 20. Conexión en Serie y Paralelo de módulos Fotovoltaicos**

Fuente: (Piñon Rizo, 2014)

En la figura 20, se presenta, un cuadro comparativo de las diferentes características eléctricas o parámetros técnicos a considerar en la selección de los módulos fotovoltaicos, la finalidad del cuadro es representar, como el tipo de tecnología de las celdas solares afecta a cada uno de ellos. Esta comparación se realizó con los paneles solares de la marca Canadian solar debido a que, en Honduras, es una de las marcas más conocidas o utilizadas. La información técnica necesaria para elaborar el cuadro comparativo se tomó de un catálogo en línea descrito en la figura 21.



**Figura 21. Catálogo de módulos solares**

Fuente: («ENF Ltd.», 2018)

A continuación, se presenta la información técnica obtenida del catálogo online.

**Tabla 4. Cuadro comparativo de características eléctricas de paneles solares.**

Fabricante	Canadian Solar			
Modelo	CS6U	CS6K	CS6U3	CS6K
Tecnología Células	Policristalina	Monocristalina	Policristalina	Monocristalina
Dimensiones	1640x992x40 mm	1650X992X35 mm	1960X992X35 mm	1650X992X35 mm
Numero de celdas	60(6x10)	60(6x10)	72(6x12)	60(6x10)
Peso	18.5 KG	18.2 kg	22.4 kg	18.2 kg
Características eléctricas				
Potencia Máxima (Pmax)	270 W	290 W	325 W	315 W
Tensión Máximo de operación (VMPP)	31.75 V	32.1 V	37 V	33.1 V
Corriente Máxima de operación (IMP)	8.51 A	9.05 A	8.78 A	9.52 A
Tensión en circuito abierto (Voc)	39.16 V	39.3 V	45.5 V	40.3 V
Corriente de Cortocircuito (Isc)	8.99 A	9.67 A	9.34 A	10.07 A
Eficiencia	16.60%	17.72%	16.72%	19.24%
Temperatura de operación	(-) 40 aprox 85°C	(-) 40 aprox 85°C	(-) 40 aprox 85°C	(-) 40 aprox 85°C
Voltaje de aislamiento	1000 Vdc	1000 Vdc	1000 Vdc	1000 Vdc
Capacidad máxima del fusible	15 A	15 A	15 A	15 A

Fuente: («ENF Ltd.», 2018)

En la tabla 4, se muestra la eficiencia de cada uno de los módulos, dependiendo de la dimensión de los módulos, lo que nos da una visión más clara de cuanta energía nos genera un módulo dependiendo el número de celdas y el tipo de utilizado en cada una de ellas.

### 2.2.3.3 TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Es muy importante que cualquier persona o empresa que decida utilizar un sistema fotovoltaico considere que estos sistemas no solamente consisten en los paneles solares por sí mismos, sino en una serie de equipos que trabajan conjuntamente. De acuerdo al tipo de elementos que lo constituyan, el sistema fotovoltaico puede ser (Piñon Rizo, 2014, p. 56);

- 1) Interconectado a la red de la compañía suministradora; para la implementación de este sistema deben tomarse en cuenta varios aspectos de importancia como ser;

- 1.1) No existen baterías.
- 1.2) Su cálculo e instalación son sencillos.
- 1.3) El retorno de inversión es más rápido en comparación con otros tipos de sistemas.
- 1.4) El medidor de energía eléctrica debe ser bidireccional
- 1.5) El controlador proporciona la energía en forma de c.a.
- 1.6) Debe existir protección contra bajo voltaje, sobre voltaje, sobre corriente, sincronismo, frecuencia y anti-isla. Si falla el suministro de energía eléctrica externo, el sistema se apaga.

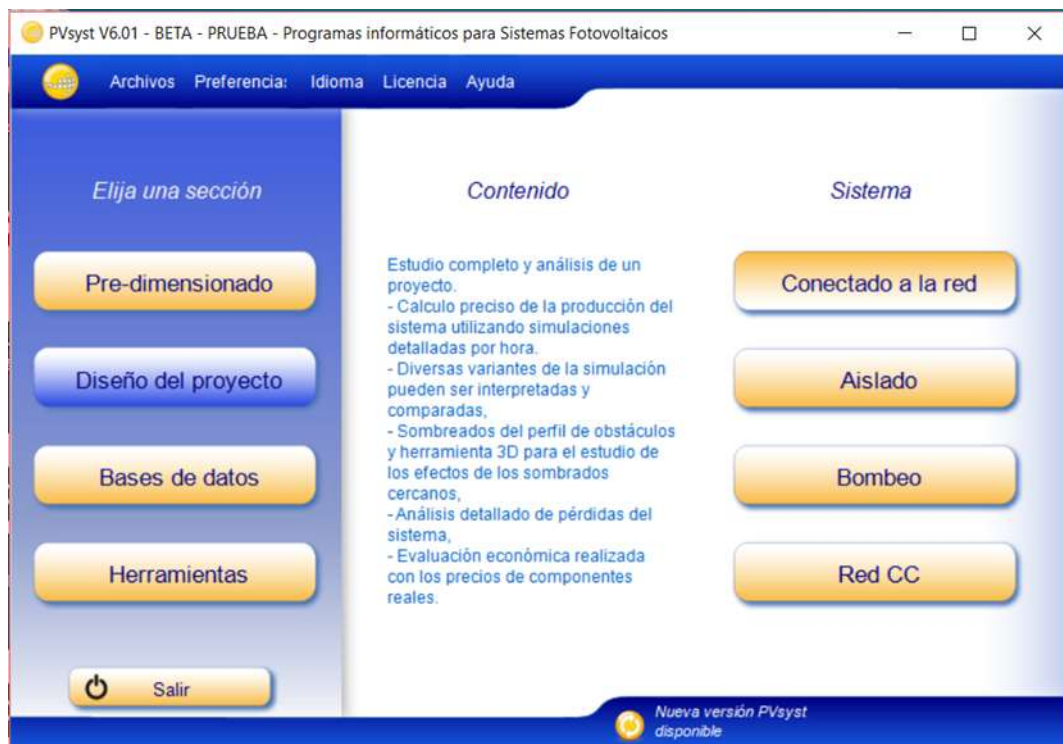
El principal error que se comete es pensar que en el momento de colocar este tipo de sistema solar en una instalación y ocurre una falla de la compañía suministradora esa instalación continuara con el servicio de energía eléctrica. En este tipo de conexión no sucede tal cosa, ya que cuando ocurre la falla externa, la instalación se queda sin servicio de energía eléctrica. Este tipo de sistema no es un sistema interrumpible de energía (UPS), no funciona como tal al menos que se planee que funcione de esa manera mediante otros arreglos. Este esquema está diseñado para conectarse a la red del suministro externo, por ello es indispensable que el medidor de energía eléctrica sea bidireccional o sea, debe ser capaz de medir el paso de energía en sentido de la red hacia los usuarios y viceversa durante el día que es cuando se tiene la mayor incidencia solar y por tanto la mayor generación de energía habrá momentos en que la energía que se genera, exceda a lo consumido, entonces como ese excedente se inyectara a la red de suministro, el medidor girara en sentido contrario a como lo hace normalmente y esto hará que se descuenta de lo que se consume en forma usual (Piñon Rizo, 2014, p. 57)

- 2) Sistema tipo isla o aislado esta es la aplicación que se utiliza en lugares donde es difícil que la red eléctrica llegue, como por ejemplo en el campo o en el mar, por tanto, el sistema es completamente aislado. Se caracteriza por:
  - 2.1) Estar aislado de la red
  - 2.2) Se puede instalar en lugares que se requiera
  - 2.3) Depende de las baterías

- 2.4) Maneja ácidos
- 2.5) El mantenimiento es costoso
- 2.6) Es más caro que el interconectado.

## 2.2.4 DIMENSIONAMIENTO DEL GENERADOR SOLAR

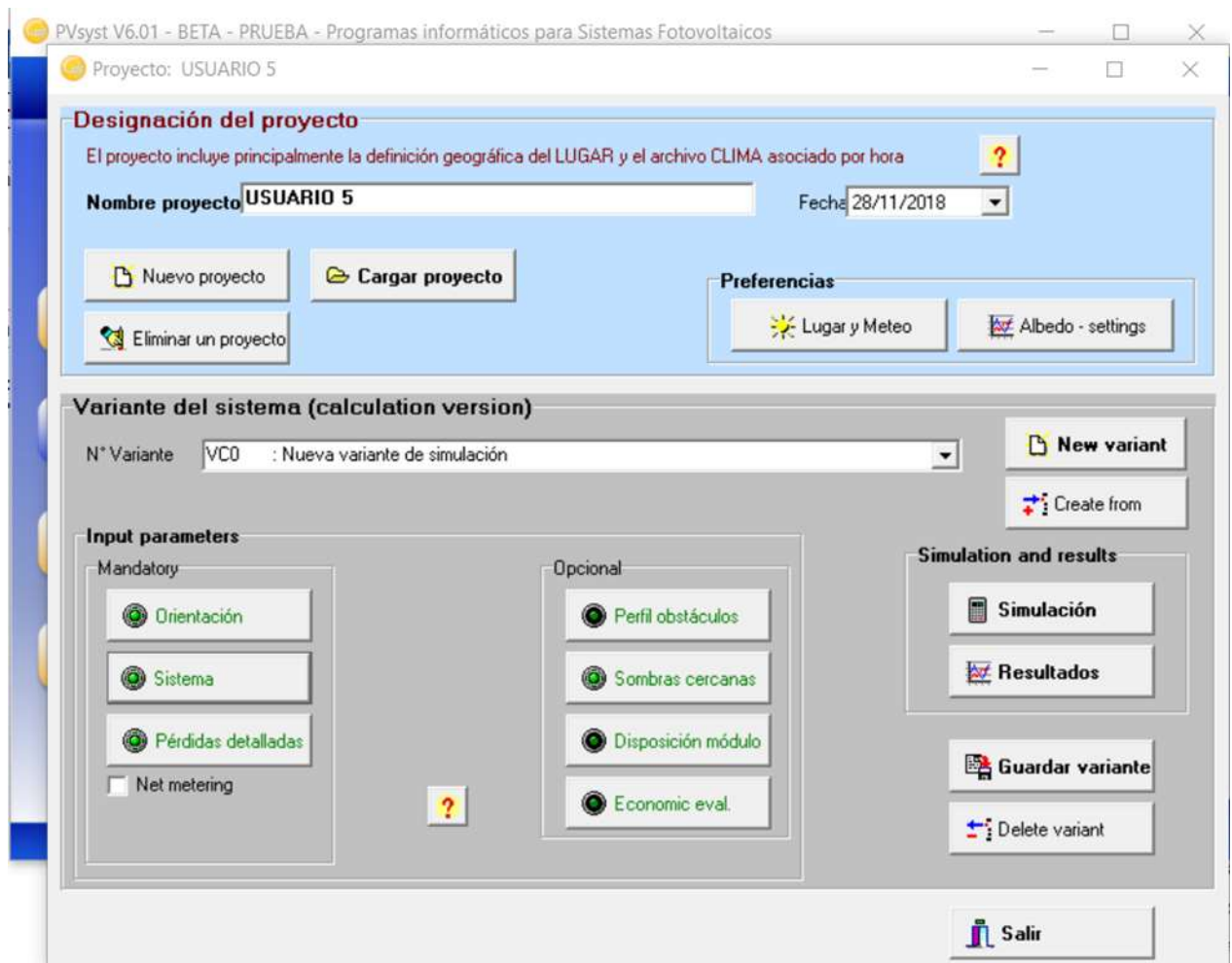
El dimensionamiento del sistema solar considera las recomendaciones de la norma NFPA 70, y se realizara en el software de diseño PVsyst, descrito en la figura 22.



**Figura 22. Software de diseño PVsyst “Pantalla de inicio”**

Fuente: (Pvsyst V6.0.1,2018)

La implementación del software PVsyst en nuestro estudio se debe a que nos permite evaluar los diferentes factores técnicos que inciden o afectan la generación de un sistema fotovoltaico, dicho software nos permite modelar las necesidades de cada usuario, las características eléctricas y topologías de la vivienda del usuario, brindándonos una estimación de la cantidad de energía eléctrica anual que se puede obtener del sistema fotovoltaico dimensionado, la figura 23 presenta una descripción de la interfaz de dicho software.



**Figura 23. Designación del proyecto**

Fuente: (Pvsyst V6.01,2018)

En la figura 23, se observa los parámetros de entrada que debe recibir el software, para poder realizar la simulación, entre dichos parámetros destacan la orientación, configuración del tipo de sistema y el análisis de sombras cercanas.

## 2.2.5 ESTUDIO TÉCNICO

(Baca Urbina, 2010) Afirma que: “Uno de los objetivos del estudio técnico es analizar y determinar el tamaño, la localización, los equipos, las instalaciones y la organización óptimos requeridos para realizar un proyecto” p.74.

De forma general podemos resumir que el estudio técnico consiste en (Baca Urbina, 2010);

- 1) Análisis y determinación de la localización óptima. Es necesario tomar en cuenta no sólo factores cuantitativos, como los costos de transporte de materia prima y del producto terminado, sino también los factores cualitativos, tales como apoyos fiscales, el clima, la



actitud de la comunidad, y otros. Recuerde que los análisis deben ser integrales, si se realizan desde un solo punto de vista conducirán a resultados poco satisfactorios.

- 2) Análisis y determinación del tamaño óptimo del proyecto. Determinar el tamaño óptimo es tarea difícil, debido a que las técnicas existentes para su determinación son iterativas y no existe un método preciso y directo para hacer el cálculo.
- 3) Análisis de la disponibilidad y el costo de los suministros e insumos. (Baca Urbina, 2010) Afirma: “Las relaciones entre el tamaño y la tecnología influirán a su vez en las relaciones entre tamaño, inversiones y costo de producción. En efecto, dentro de ciertos límites de operación y a mayor escala, dichas relaciones propiciarán un menor costo de inversión por unidad de capacidad instalada y un mayor rendimiento por persona ocupada; lo anterior contribuirá a disminuir el costo de producción, aumentar las utilidades y elevar la rentabilidad del proyecto” p. 84-85.
- 4) Identificación y descripción del proceso. La evaluación de proyectos es flexible para adaptarse a cualquier tipo de proyecto de inversión, por lo tanto, este apartado del estudio técnico pretende identificar los diferentes procesos que se siguen en la generación de energía solar fotovoltaica, así como una descripción de estos. Cualquiera que sea la manera en que esté hecha una distribución de la planta, afecta al manejo de los materiales, la utilización del equipo, los niveles de inventario, la productividad de los trabajadores, e inclusive la comunicación de grupo y la moral de los empleados (Baca Urbina, 2010).
- 5) Determinación de la organización humana y jurídica que se requiere para la correcta operación del proyecto. Algunos de los aspectos que no se analizan con profundidad en los estudios de factibilidad son el organizativo, el administrativo y el legal. Esto se debe a que son considerados aspectos que por su importancia y delicadeza merecen ser tratados a fondo en la etapa de proyecto definitivo. Esto no implica que deba pasarse por alto, sino, simplemente, que debe mencionarse la idea general que se tiene sobre ellos, pues de otra manera se debería hacer una selección adecuada y precisa del personal, elaborar un manual de procedimientos y un desglose de funciones, extraer y analizar los principales artículos de las distintas leyes que sean de importancia para la empresa, y como esto es un trabajo delicado y minucioso, se incluye en la etapa de proyecto definitivo (Baca Urbina, 2010).

## 2.2.6 ANÁLISIS FINANCIERO

En este apartado se describirá el método de análisis que se utilizará para comprobar la rentabilidad económica del proyecto. Se sabe que el dinero disminuye su valor real con el paso del tiempo, a una tasa aproximadamente igual al nivel de inflación vigente. Esto implica que el método de análisis empleado deberá tomar en cuenta este cambio de valor real del dinero a través del tiempo. (Baca Urbina, 2010) Afirma: “Siempre que se hagan comparaciones de dinero a través del tiempo deben hacerse en un solo instante, usualmente en el tiempo cero o presente, y siempre deberá tomarse en cuenta una tasa de interés, pues ésta modifica el valor del dinero conforme transcurre el tiempo” p. 182.

Por lo anterior, en el análisis financiero tomaremos como punto de referencia los siguientes indicadores financieros para evaluar los ahorros generadas por la implementación de un proyecto solar fotovoltaico (Baca Urbina, 2010):

- 1) Valor Presente Neto (VPN)
- 2) Tasa interna de rendimiento (TIR)
- 3) Periodo de Recuperación (PR)
- 4) Costo de Capital

### 2.2.6.1 VALOR PRESENTE NETO

El valor presente neto VNA se define como el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados a la inversión inicial, es decir sumar los flujos descontados en el presente y restar la inversión inicial equivale a comparar todas las ganancias esperadas contra todos los desembolsos necesarios para producir esas ganancias, en términos de su valor equivalente en este momento o tiempo cero. Para calcular el VNA se utiliza el costo de capital o la tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR) (Baca Urbina, 2010).

Una vez que se hallan determinado los flujos de efectivo que se obtendrán con la implementación de un sistema solar fotovoltaico, a partir de la siguiente ecuación (Baca Urbina, 2010):

$$VPN = -S_0 + \sum_{t=1}^n \frac{S_t}{(1+i)^t}$$

Donde:

So = Inversión inicial

St = Flujo de efectivo neto del periodo

n = Número de periodos de vida del proyecto

i = Costo de capital o la tasa mínima aceptable de rendimiento

t = Periodo

Los criterios de evaluación serán los siguientes (Baca Urbina, 2010):

- 1)  $VNA > 0$ , la implementación del proyecto es viable
- 2)  $VNA < 0$ , la implementación del proyecto no es viable

#### 2.2.6.2 TASA INTERNA DE RETORNO

La tasa interna de rendimiento es la tasa de descuento por la cual el VPN es igual a cero. Es la tasa que iguala la suma de los flujos descontados a la inversión inicial. Se le llama tasa interna de rendimiento porque supone que el dinero que se gana año con año se reinvierte en su totalidad. Es decir, se trata de la tasa de rendimiento generada en su totalidad en el interior de la empresa por medio de la reinversión, esta debe ser mayor que la tasa de rendimiento exigida para el proyecto (Baca Urbina, 2010).

#### 2.2.7 TIEMPO DE RETORNO ENERGÉTICO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Para conseguir que un sistema generador de energía funcione como tal, es necesario el empleo de diferentes técnicas que a su vez demandan el consumo de diferentes fuentes de energía. Así, a lo largo de su ciclo de vida, además de producir energía y diferentes residuos, un sistema generador requerirá el empleo de energía para la fabricación de sus componentes, el tratamiento del terreno en el que será ubicado, el transporte e instalación de los equipos que lo forman, el combustible necesario para su funcionamiento, la reposición de los equipos que

agotan su ciclo, etc. El Análisis de Ciclo de Vida –Life Cycle Assessment (LCA)– tiene como objetivo documentar y analizar los impactos que un sistema provoca sobre su entorno desde su producción hasta su desmantelamiento y reciclaje (la terminología inglesa utiliza expresiones como *from cradle to grave*, de la cuna a la tumba, para expresar este (Lamigueiro, 2018).

Para la aplicación de este enfoque al estudio del impacto energético de un sistema fotovoltaico se estudian tres fuentes de información (Lamigueiro, 2018):

- 1) Inventarios de Ciclos de Vida (Life Cycle Inventory, LCI) de los procesos empleados para implementar un Sistema fotovoltaico. A partir de estos LCIs es posible estimar el impacto energético asociado.
- 2) Radiación global del lugar en el que el SFCR va a desempeñar sus funciones.
- 3) Características técnicas de los diferentes componentes del SFCR que permitan estimar la energía producida a lo largo de toda su vida útil.

La aplicación de un estudio del ciclo de vida energético a un sistema exige la definición de las fronteras espaciales y temporales que contienen los productos y procesos que formarán parte del cálculo. Esta definición de fronteras permite establecer indicadores útiles para la comparación con sistemas alternativos. En el caso que nos ocupa, el objetivo es analizar el comportamiento de diferentes técnicas de seguimiento a lo largo de su vida útil. Por tanto, las fronteras dejarán fuera los componentes cuya elección y diseño dependen de condiciones coyunturales (por ejemplo, normativa local de conexión a red en Media Tensión), y en todo caso, debieran ser adoptados por el diseñador independientemente de la técnica de seguimiento adoptada. Por simplificarlo con una etiqueta, diremos que la frontera es la Baja Tensión (BT) (Lamigueiro, 2018).

Así, el LCI incluirá la energía empleada en la fabricación y transporte de los módulos fotovoltaicos, cableado de BT, inversores, estructura de soporte y cimentaciones, y no se tendrán en cuenta los Centros de Transformación y Líneas de Media Tensión. Otros procesos incluidos dentro de la frontera de Baja Tensión se descartan por su escasa influencia en la contabilidad global: protecciones de BT, mano de obra, equipos accesorios de obra, sistemas de comunicaciones, documentación y tareas de mantenimiento (Lamigueiro, 2018).

## 2.3 CONCEPTUALIZACIÓN

A continuación, se detallan los términos conceptuales más importantes utilizados en el proyecto con el fin de brindar al lector una comprensión general del mismo.

### 2.3.1 RADIACIÓN SOLAR

(Lamigueiro, 2018) Afirma que es la potencia de radiación solar por unidad de área incidente en una superficie. Sus unidades en el sistema internacional (SI) son  $W/m^2$  (p. 25).

### 2.3.2 CONSTANTE SOLAR

Es el valor de irradiancia incidente en un plano normal al vector Sol-Tierra en el límite superior de la atmósfera terrestre. Se acepta como valor promedio el propuesto por la Organización Meteorológica Mundial (Lamigueiro, 2018);

Superficie exterior atmósfera ( $B_0$ )  $1367 W/m^2$

Superficie terrestre ( $B_c$ )  $900 W/m^2$

### 2.3.3 IRRADIACIÓN SOLAR

Es la integral durante un período temporal de la irradiancia y, por tanto, es la energía de radiación solar por unidad de área incidente en una superficie. Sus unidades en el S.I. son  $Wh/m^2$  (Lamigueiro, 2018).

### 2.3.4 GENERADOR FOTOVOLTAICO

Es la conexión en paralelo de varias cadenas de módulos solares (Strings) que se agrupan entre sí, de acuerdo con las características de voltaje y corriente que tenga la entrada del inversor.

### 2.3.5 STRING O CADENA

Es la conexión en serie de varios módulos solares.

### 2.3.6 INVERSOR

Es un equipo electrónico que transforma la energía generada que produce el generador fotovoltaico en corriente directa a corriente alterna.

### 2.3.7 SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED (SFCR)

Es un sistema cuya función es producir energía eléctrica en condiciones adecuadas para poder ser inyectada en la red convencional. Se compone del generador fotovoltaico, un inversor DC/AC y un conjunto de protecciones eléctricas. La energía producida por este sistema será consumida parcial o totalmente en las cercanías, y la energía sobrante será inyectada en la red para su distribución a otros puntos de consumo. Es común que existan mecanismos de retribución económica que compensan al propietario del sistema por la energía que su sistema intercambia con la red (Lamigueiro, 2018).

### 2.3.8 SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO (SFA)

Produce energía eléctrica para satisfacer el consumo de cargas eléctricas no conectadas a la red, empleando un sistema de acumulación energético para hacer frente a los períodos en los que la generación es inferior al consumo (Lamigueiro, 2018).

### 2.3.9 ACUMULADOR ELECTROQUÍMICO

Es una batería secundaria o recargable, capaz de almacenar energía eléctrica mediante una transformación en energía electroquímica. Es capaz de dar autonomía al sistema fotovoltaico al satisfacer los requerimientos de consumo en cualquier momento, independientemente de la generación. También contribuye al buen funcionamiento del sistema al aportar picos de intensidad superiores a los que proporciona el generador FV y al estabilizar el voltaje del sistema, evitando fluctuaciones dañinas en los equipos de consumo (Lamigueiro, 2018).

### 2.3.10 VALOR PRESENTE NETO

El valor presente neto VNA se define como el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados a la inversión inicial, es decir sumar los flujos descontados en el presente y restar la inversión inicial equivale a comparar todas las ganancias esperadas contra todos los desembolsos necesarios para producir esas ganancias, en términos de su valor equivalente en este momento o tiempo cero (Baca Urbina, 2010).

### 2.3.11 TASA INTERNA DE RETORNO

La tasa interna de rendimiento es la tasa de descuento por la cual el VPN es igual a cero. Es la tasa que iguala la suma de los flujos descontados a la inversión inicial (Baca Urbina, 2010).

### 2.3.12 COSTO DE CAPITAL

El costo de capital es el rendimiento requerido sobre los distintos tipos de financiamiento (Baca Urbina, 2010).

### 2.3.13 RETORNO DE LA INVERSIÓN

Es una razón financiera que compara el beneficio o la utilidad obtenida en relación a la inversión realizada (Baca Urbina, 2010).

## 2.4 MARCO LEGAL

En la presente sección se describe la Normativa Regulatoria que permite la Armonización del Mercado Eléctrico en Honduras. Estas leyes inciden directamente en el cálculo de viabilidad de cualquier proyecto de generación de energía eléctrica, debido a que mediante decretos se establecen las pautas para el cálculo de las tarifas en kilovatio- hora, las líneas de negociación para la comercialización de la energía y los requisitos que deben cumplir por ejemplo los proyectos de generación diseñados para el autoconsumo de energía eléctrica.

### 2.4.1 LEY MARCO DEL SUBSECTOR ELÉCTRICO

Aprobada el día 26 de noviembre del 1994 bajo el decreto número 158-94, nace debido a la falta de un reglamento para controlar y regular la creciente demanda energética que el país, enfrentaba, pese a los 25 años de estar en funcionamiento de la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE) (Ramos, s/f). Con el objeto de promover la inversión pública y privada en proyectos de generación de energía eléctrica con recursos renovables nacionales se sea en el año 2007 la Ley de Promoción a la Generación de Energía Eléctrica con Recursos Naturales. Encaminada a promover recursos estatales, esta ley es contentiva de los siguientes incentivos (Ramos, s/f):

- 1) Exoneración del pago del impuesto sobre ventas para todos aquellos equipos, materiales y servicios que estén destinados o relacionados directamente con la generación de energía eléctrica con recursos renovables.
- 2) Exoneración del pago de todos los impuestos, tasas, aranceles, y derechos de importación para todos aquellos equipos, materiales, repuestos, partes relacionados directamente con la generación de energía eléctrica con recursos renovables.
- 3) Exoneración del pago del impuesto sobre la Renta, aportación solidaria Temporal, impuesto al activo neto y todos aquellos impuestos conexos a la renta durante un plazo de 10 años, contados a partir de la fecha de inicio de operación comercial de la planta, para proyectos con capacidad instalada hasta 50MW.
- 4) Los proyectos recibirán todos los beneficios establecidos en la Ley de Aduanas en relación con la importación temporal de maquinaria y equipos necesarios para la construcción y mantenimiento de los citados proyectos.
- 5) Exoneración del impuesto sobre la renta y sus retenciones sobre los pagos de servicios u honorarios contratados con personas naturales o jurídicas extranjeras, necesarios para los estudios, desarrollo, instalación, ingeniería, administración, construcción y monitoreo del proyecto de energía renovable.

En materia de distribución, la ley estipula que se podrá vender la energía y servicios eléctricos auxiliares con las siguientes opciones (Ramos, s/f);

- 1) Vender directamente a grandes consumidores o a empresas distribuidoras de energía eléctrica contando con la aprobación de la Empresa Nacional de Energía Eléctrica, previo aseguramiento de la demanda nacional de energía.
- 2) Vender por iniciativa propia su producción a la Empresa Nacional de Energía Eléctrica, teniendo esta última la obligación de firmar un contrato de suministro de energía eléctrica y comprar tal energía.



## 2.4.2 LEY DE PROMOCIÓN A LA GENERACIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

Aprobada el día 20 de mayo del 2014 bajo el decreto número 404-2013 debido a que la demanda de compra y venta de energía aumento y Honduras pasó a formar parte del Sistema de Interconexión Eléctrica para América Central (SIEPAC), con esta ley se busca hacer más eficiente las distribución y transmisión reduciendo significativamente las perdidas en dichos sectores generando tarifas más competitivas en el ámbito regional. Estas medidas permitirán que la ENEE concentre sus esfuerzos en el desarrollo de los recursos naturales renovables del país, contando con el apoyo del sector privado en las tareas subsidiarias de transmisión, la operación del sistema y la distribución de electricidad (Ramos, s/f).

## 2.4.3 LEY DE INCENTIVOS A LAS ENERGÍAS RENOVABLES

El Estado explicita el interés en promover el aprovechamiento de fuentes de energía renovable, para lo cual emite disposiciones especiales. Mediante Decreto 85 -98 (Ramos, s/f);

- 1) Declara de utilidad pública el aprovechamiento de recursos renovables.
- 2) Es prioritario el desarrollo de los recursos renovables.
- 3) Promueve plantaciones energéticas, para reducir emisión de GEI
- 4) Estableció beneficios fiscales impositivos para la empresa desarrolladora del proyecto de generación (ISR, derechos arancelarios)
- 5) Precio de venta será CMCP +10 %

Según el decreto 267-98 (Ramos, s/f);

- 1) Modifica el artículo 12 del Decreto 85 - 98
- 2) Restituye artículos 11 ,12 14 a16 al Decreto 85 -98
- 3) Modifica: exoneración del ISR a 5 años; exoneración del pago pago del ISV y derechos arancelarios solo durante la construcción del proyecto, limita el incentivo del 10 % sobre el CMCP a proyectos menores de 50 MW.

Según el decreto 176-99 (Ramos, s/f);

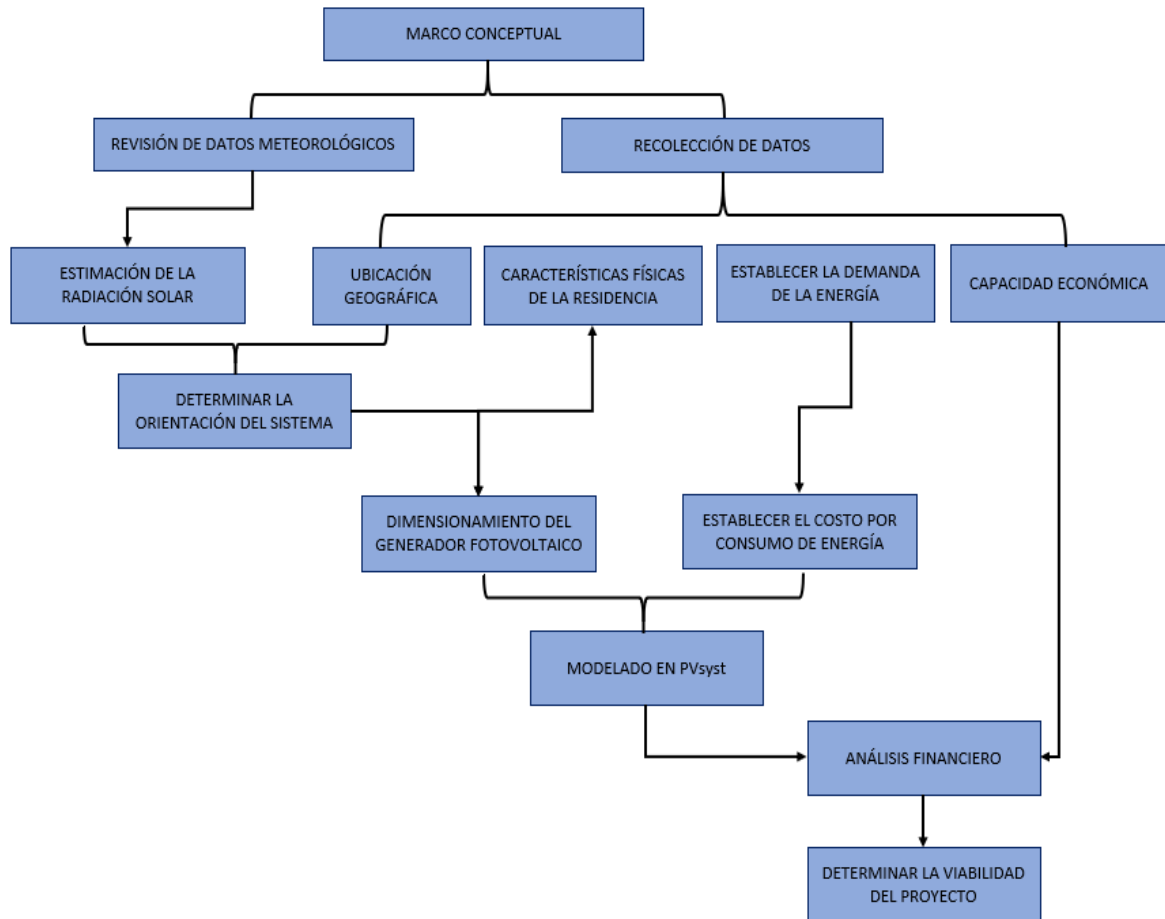
- 1) Modifica ajuste por inflación, limitándola a un máximo de 1.5% anual.

Según el decreto 70-2007 (Ramos, s/f);

- Establece la Ley Para Promoción de la Producción de Energía Eléctrica con Recursos Renovables.
- Unifica condiciones aplicables a generación con recursos renovables, para motivar inversiones en esas tecnologías.

## 2.5 MARCO METODOLÓGICO

El diagrama o proceso que se presenta en la figura 24, es una explicación de los mecanismos utilizados en el desarrollo de la investigación. En general, indica de forma sistemática y lógica, los conceptos y fundamentos expuestos en el marco teórico (“Normas APA”, 2018).



**Figura 24. Marco metodológico**

Fuente: (Peralta Jaramillo et al., 2016)

En la figura 24, se muestra la forma de trabajo a seguir en nuestro estudio, comprende la recolección de la información a nivel socio energético y visitas de campo con el objetivo de identificar las necesidades de los usuarios, y posteriormente el análisis de la información a través de la implementación del software Pvsyst, necesario para el modelado de los sistemas fotovoltaicos.

## **CAPÍTULO III. METODOLOGÍA**

Una vez se ha desarrollado el marco teórico y se conoce sobre las diferentes teorías que afectan directamente la presente investigación, es imperativo determinar la metodología de la investigación a utilizar. La metodología sirve de guía, ya que a través de métodos, técnicas y procedimientos permite determinar los implementos a utilizar para recabar información valiosa y necesaria de la ciudad de San Pedro Sula y por medio de entrevistas a expertos que conocen más del rubro de energético del país, el manejo de ellos y la forma de operación de cada uno de ellos. Es importante mencionar que toda la información obtenida a través de las diferentes técnicas que se implementaron en el presente estudio.

### **3.1 CONGRUENCIA METODOLÓGICA**

En la tabla 5, se aprecia la congruencia que tiene el problema planteado con el objetivo general y específico, que permitieron la elaboración de las preguntas de investigación descritas en el capítulo I con la finalidad de demostrar una congruencia lógica entre cada una de las partes.

#### **3.1.1 MATRIZ METODOLÓGICA**

La matriz metodológica es un instrumento fundamental de un trabajo de investigación, consta de varios cuadros formados por varias filas y columnas, que se ha convertido en una estrategia metodológica valiosa que permite al investigador diseñar de forma general el proceso investigativo que va a emprender. Garantiza que cada uno de los elementos o la información que usará para la investigación, se correlacionen entre sí, es decir, que haya congruencia horizontal y vertical entre los elementos medulares de la investigación (Hernández Sampieri et al., 2014)

**Tabla 5. Matriz Metodológica**

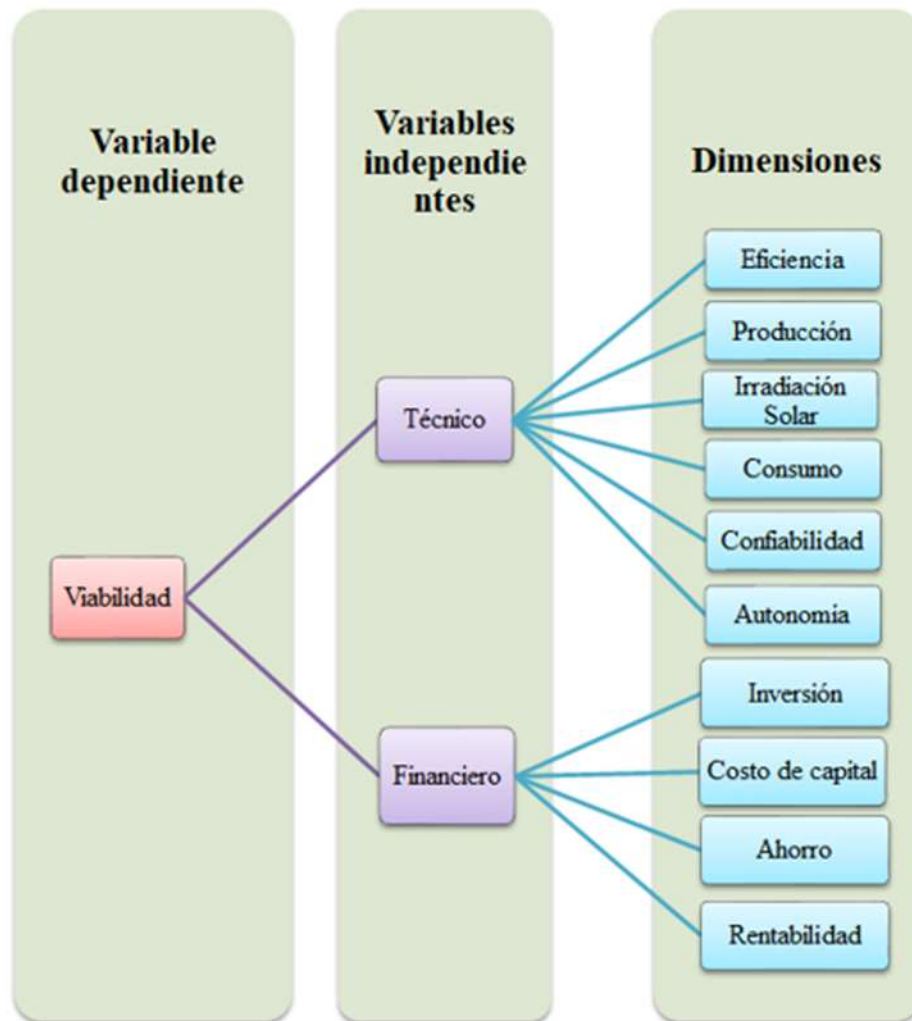
Titulo	Viabilidad técnica y financiera de Sistemas Solares Fotovoltaicos en zonas residenciales de San Pedro Sula.				
Problema	Objetivo General	Objetivos Específicos	Preguntas de investigación	Variable Independiente	Variable Dependiente
<p><b>¿Qué tan viable es desde el punto de vista técnico y financiero la implementación de un sistema fotovoltaico con el fin de reducir el costo por consumo de energía eléctrica, para los usuarios del sector residencial en San Pedro Sula, 2018?</b></p>	<p>Evaluar la viabilidad técnica y financiera de implementar un sistema solar fotovoltaico para los usuarios del sector residencial de San Pedro Sula.</p>	<p>Identificar los indicadores técnicos requeridos para la implementación de un sistema fotovoltaico para los usuarios del sector residencial de San Pedro Sula.</p>	<p>¿Cuáles son los indicadores técnicos requeridos para la implementación de un sistema fotovoltaico para los usuarios del sector residencial de San Pedro Sula?</p>	<p>Técnico</p>	<p>Viabilidad</p>
		<p>Determinar el costo beneficio de la implementación de un sistema fotovoltaico para los usuarios del sector residencial en San Pedro Sula.</p>	<p>¿Cuál es el costo beneficio de la implementación de un sistema fotovoltaico para los usuarios del sector residencial en San Pedro Sula?</p>	<p>Financiero</p>	

Fuente: Elaboración propia

La matriz metodológica permite establecer la relación que existe entre las variables, las cuales deben estar relacionadas entre ellas como se muestra en la Tabla 5, confirmando que el tema investigado concuerda con el problema detectado, la elaboración del objetivo general y objetivos específicos, preguntas de investigación, variables independientes y variable dependiente.

### 3.1.2 DEFINICIÓN OPERACIONAL DE LAS VARIABLES

La definición de las variables es un proceso importante ya que son la guía de la investigación. Las variables elegidas en el presente estudio cuentan con sus dimensiones, indicadores y técnicas según la teoría correspondiente a cada una de ellas. A continuación, se presenta en la Figura 25, el diagrama de las variables con el fin de conocer las dimensiones de cada una.



**Figura 21. Diagrama de Variables**

Fuente: Elaboración propia

Posterior de presentar el esquema las variables del presente estudio y sus dimensiones, se necesario detallar cada variable de acuerdo a su concepto operacional con el fin de conocer los indicadores requeridos para llegar a cada dimensión. Asimismo, se detallan las preguntas de alcance de cada variable y las posibles respuestas que se realizarán por medio de la técnica de encuestas, presentando lo anterior por medio la de Operacionalización de cada variable del presente estudio:

**Tabla 6. Operacionalización de las variables Financieras**

Variables	Definición		Dimensiones	Indicador	Ítems	Tipo de Instrumento	Muestra	
	Conceptual	Operacional						
Técnico	Nos permite conocer los materiales necesarios para la instalación de un módulo, cuál sería su ubicación óptima.	Indica la capacidad de generación de Energía de la planta Solar.	Consumo	Energía en KWH	¿Para qué perfiles de carga se recomienda una instalación solar fotovoltaica?	Entrevista y análisis de datos	Expertos en instalación de SFV/ simulaciones	
			Irradiación Solar	Watt/m2	¿Cuál es el valor promedio de irradiancia típico en San Pedro Sula?	Análisis de datos	Simulaciones	
			Producción	Energía en KWH	Ubicación	¿Qué condiciones afectan la producción de energía según la topología del lugar donde instalara la planta solar?	Entrevista	Expertos en instalación de SFV
						¿Qué porcentaje de Energía consumida puede ser cubierto por una planta Solar Fotovoltaica de acuerdo a las regulaciones energéticas vigentes?	Entrevista y análisis de datos	Expertos en instalación de SFV/ simulaciones
				Tipo de Red	¿Qué condiciones o parámetros eléctricos debe cumplir el sistema para la instalación de la planta?	Entrevista y análisis de datos	Expertos en instalación de SFV/ simulaciones	
			Eficiencia	Rendimiento		¿Qué tipo de tecnología de módulos solares se recomienda para instalaciones del sector residencial?	Entrevista y análisis de datos	Expertos en instalación de SFV/ simulaciones
						¿Qué tipo de sistema fotovoltaico se recomienda para los usuarios del sector residencial?	Entrevista y análisis de datos	Expertos en instalación de SFV/ simulaciones
			Confiabilidad	Factor de Planta		¿Cómo se puede mejorar la confiabilidad de un sistema solar fotovoltaico instalado en sistemas residenciales?	Entrevista	Expertos en instalación de SFV
watt/hora	¿En qué casos se debe considerar un sistema de respaldo (baterías) para la instalación solar?	Entrevista			Expertos en instalación de SFV			
Financiero	Nos permite identificar los recursos financieros para poder llevar a cabo un proyecto	Indica la rentabilidad real de la planta solar fotovoltaica vs el perfil de consumo.	Inversión	Lps/Kwp	¿Cuál es el costo promedio de instalación de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red?	Entrevista	Expertos en instalación de SFV	
				Lps/Kwp	¿Cuál es el costo promedio de instalación de los sistemas fotovoltaico con banco de baterías?	Entrevista	Expertos en instalación de SFV	
			Costo de Capital	Tasa de interés	¿Actualmente se cuenta con el apoyo de unidades financieras para el financiamiento de este tipo de proyectos? Si su respuesta es afirmativa ¿Cuál es la tasa de interés?	Entrevista	Expertos en instalación de SFV	
			Ahorro	Disminución en factura de consumo Lps.	¿Cuál es el porcentaje promedio de ahorro obtenido por la implementación de esta clase de sistemas?	Análisis de datos	Simulaciones	
			Rentabilidad	Tiempo de Retorno		¿Cuál es el tiempo de retorno en años para un sistema fotovoltaico conectado a la red?	Análisis de datos	Simulaciones
						¿Cuál es el tiempo de retorno en años para un sistema fotovoltaico con banco de baterías?	Análisis de datos	Simulaciones
						¿Cuáles son los flujos de efectivo esperados por el inversionista al implementar estos sistemas?	Análisis de datos	Simulaciones
						¿Cuál es la tasa interna de retorno esperada por el inversionista al implementar estos sistemas?	Análisis de datos	Simulaciones
						¿Existen incentivos legales que favorezcan la instalación de esta clase de sistemas?	Análisis de datos	Simulaciones

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.3 HIPÓTESIS

Las hipótesis indican lo que tratamos de probar y definen como explicaciones tentativas del fenómeno investigado que se formulan como proposiciones (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010, p. 92). A continuación, se formulan las hipótesis de la investigación y la hipótesis nula para comprobar la factibilidad del proyecto de investigación:

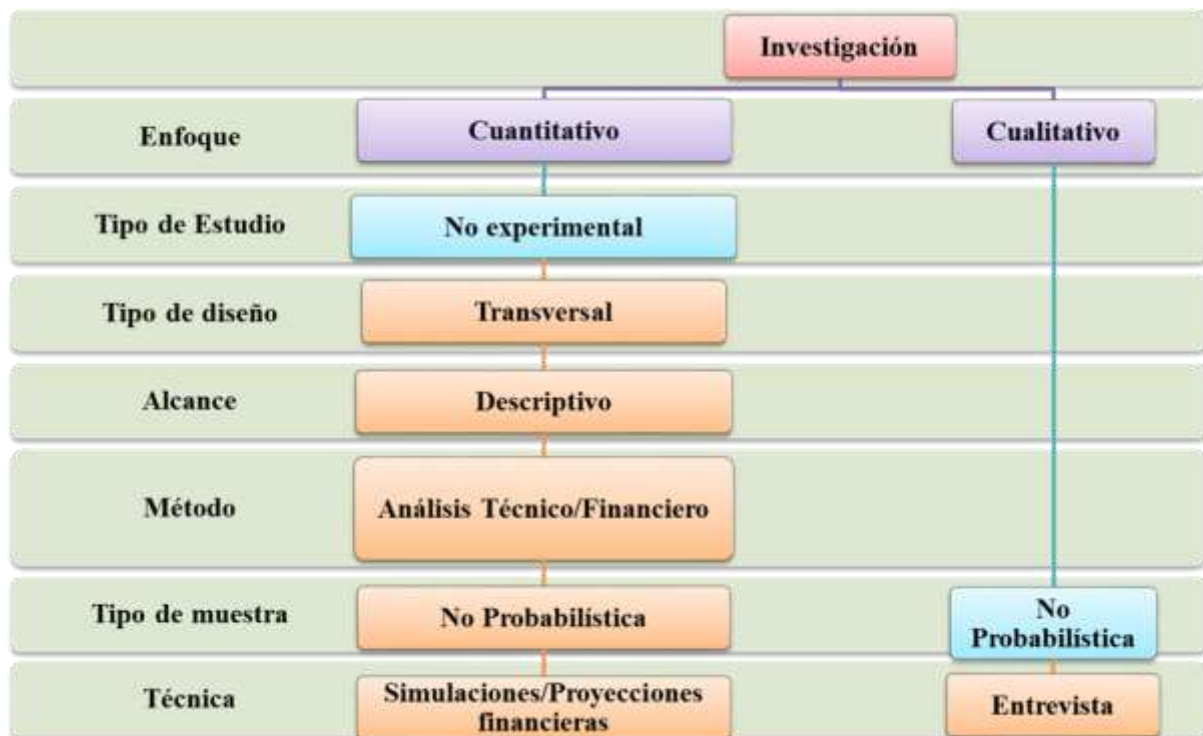
Hi: La implementación de un sistema solar fotovoltaicos dentro del sector residencial tiene un costo de capital menor a la TIR.

Ho: La implementación de un sistema solar fotovoltaicos dentro del sector residencial tiene un costo de capital mayor o igual a la TIR.

### 3.2 ENFOQUE Y MÉTODOS

En la figura 26, se describe el enfoque y metodología que seguirá la investigación, la cual consiste en un enfoque mixto, porque utiliza los enfoques cualitativos y cuantitativos, el estudio será no experimental puesto que en el transcurso de la investigación no se altera ninguna de las variables y podemos concluir que es transversal ya que se hará una única recolección de datos, con el fin de determinar mediante un alcance descriptivo del análisis técnico y financiero, el enfoque cualitativo se muestra a través de la entrevista a expertos, que nos proporciona información sobre nuestras variables, al final la unión de todos estos elementos nos permitirán determinar la viabilidad de implementar proyectos solares fotovoltaicos en el sector residencial de San Pedro Sula.





**Figura 26. Enfoque y Métodos de la investigación**

Fuente: (Hernández Sampieri et al., 2014)

### 3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

(Hernández Sampieri et al., 2014a) Afirma: “El termino diseño se refiere a un plan o estrategia que se desarrolla para obtener la información que se requiere en la investigación y responder al planteamiento” p. 128. Como la teoría nos enseña el diseño de la investigación es la forma en que vamos a obtener la información sobre nuestro tema de estudio, la entrevista con expertos nos dará un mayor sustento para evaluar la viabilidad de nuestro proyecto. Y nos dará los elementos de mayor relevancia para dar por cierta nuestra hipótesis.

#### 3.3.1 POBLACIÓN

No todas las personas que habitan la zona del Valle de Sula tienen la posibilidad de contar con los fondos para invertir en un sistema de esta naturaleza, adicional a que las zonas de irradiación no son las mismas para los diferentes sectores de la ciudad, es por esta razón que nuestros objetos de estudios están localizados en colonias como Rio de Piedras, la Trejo y Casa Maya.

### 3.3.2 MUESTRA

Cuando la elección de la muestra no depende de la probabilidad que se tiene lo que se llama una muestra no probabilística, se ha considerado únicamente dos viviendas que han sido seleccionadas por la cantidad de energía eléctrica consumida en kWh, ubicación, nivel socioeconómico y topología de las viviendas con el fin de determinar la viabilidad de la implementación de los sistemas solares fotovoltaicos. Adicionalmente, se ha decidido entrevistar a expertos, con el fin de respaldar nuestro análisis técnico y financiero.

### 3.3.3 UNIDAD DE ANÁLISIS

La unidad de análisis indica quiénes van a ser medidos, es decir, los participantes o casos a quienes en última instancia vamos a aplicar el instrumento de medición (Hernández Sampieri et al., 2014a). Para el caso de nuestra investigación estamos utilizando un enfoque mixto porque abarca los enfoques cualitativo y cuantitativo, el cual se realiza a través de un análisis técnico y financiero. Para el análisis técnico se realizó un análisis de los perfiles de carga para un usuario con un consumo mucho mayor a 300 kWh por mes y a un usuario con un consumo cercano a 300 kWh por mes, en el análisis financiero se requiere los resultados obtenidos en el análisis técnico, los costos de capital actuales en la banca financiera y el valor por kilo watt pico (kWp), instalado vigente en el mercado, resultado de nuestra entrevista a experto.

### 3.3.4 UNIDAD DE RESPUESTA

La unidad de respuesta está conformada por los resultados obtenidos en el estudio técnico el cual está conformado por las siguientes dimensiones; consumo, irradiación solar, producción, eficiencia, y confiabilidad. En dicho análisis se obtiene el dimensionamiento de la planta y la viabilidad técnica de implementar el sistema solar. En el caso del análisis financiero está conformado por las siguientes dimensiones; inversión, costo de capital, ahorro y rentabilidad, los resultados obtenidos nos permitirán determinar la viabilidad del proyecto de los sistemas fotovoltaico en el sector residencial, la unidad de respuesta será la viabilidad financiera del sistema solar.

## 3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

La investigación con lleva a la búsqueda y cotejo de datos, los cuales serán recolectados de las facturas por consumo de energía que emite la eeh, registros meteorológicos de la ciudad de San Pedro Sula, levantamientos de la topología de la red de distribución y constructivos de

las viviendas seleccionadas para ser analizadas en un software de diseño denominados PVsyst mediante la técnica de Simulación para el desarrollo del análisis cuantitativo. De igual forma se ha elaborado un cuestionario para realizar un análisis cualitativo de la información mediante entrevistas a expertos.

### 3.4.1 INSTRUMENTOS

Nuestro caso de estudio nos permite utilizar las entrevistas personales con los expertos, para obtener información sobre el caso de estudio que nos ocupa, la clase de instrumento a utilizar depende del enfoque de la investigación estos también pueden ser, encuestas, grupos focales, y posteriormente el análisis de datos.

#### 3.4.1.1 LA ENTREVISTA PERSONAL

Para nuestro caso de estudio es muy importante conocer la opinión de los expertos en el tema, razón por la cual se le realizaron entrevistas con preguntas abiertas y estructuradas, los expertos son ingenieros electrónicos, con experiencia en instalación y uso de sistemas fotovoltaicos.

#### 3.4.1.2 ANÁLISIS DE DATOS

Consistió en la elaboración de los escenarios para los sistemas fotovoltaicos que requerían nuestra muestra, las necesidades de cada uno de los usuarios que son objeto el estudio, irradiación solar en cada una de las viviendas seleccionadas, horas pico en la utilización de la energía, para posteriormente elaborar el análisis financiero y obtener los resultados que permitan comprobar la Hipótesis.

### 3.4.2 TÉCNICAS

La técnica de la investigación es la triangulación del método de recolección de datos que se refiere a la utilización de diferentes fuentes y métodos de recolección. En este estudio las técnicas que se utilizaron fueron las siguientes (Hernández Sampieri et al., 2014):

### 3.4.2.1 ENTREVISTA PERSONAL

La entrevista es una técnica de investigación que se utiliza con el objetivo principal de obtener información necesaria sobre el tema de estudio, es una conversación profesional donde se relacionan dos o más personas. El cuestionario de la entrevista se conformó de la siguiente manera:

- 1) Preguntas generales de la entrevista que parten de planeamientos del tema de análisis
- 2) Preguntas abiertas estructuradas donde se consideran conceptos y variables que se analizan en el tema de investigación.

Para el procedimiento de elaboración de la entrevista, se buscaron a personas expertas en el tema, no se seleccionaron personas al azar por la selección de la muestra y características de la investigación; para verificar el nivel de conocimiento de las personas seleccionadas para la entrevista se utilizó la prueba del coeficiente de Kendall, a través de esta prueba se mide el grado de asociación entre varias personas. Luego se procedió a elaborar las preguntas para desarrollar el cuestionario que consistía en preguntas abiertas para responder a las interrogantes planteadas. Con el cuestionario finalizado se procedió a los siguientes pasos:

- 1) Identificar y contactar a los expertos, explicándoles el tema y objetivos de la entrevista.
- 2) Se desarrolló la agenda para la entrevista
- 3) Se acordó lugar y día para realizar la entrevista.
- 4) Se toma nota durante las entrevistas
- 5) Se analizaron las respuestas, para formular conclusiones del estudio.

### 3.4.2.2 ANÁLISIS DE DATOS

Revisión de datos para análisis de resultados de simulación obtenidos de PVsyst y los sistemas de información geográfica, para poder determinar la viabilidad técnica y financiera.

## 3.5 FUENTES DE INFORMACIÓN

Las fuentes de información son todas aquellas que proporcionan datos históricos y actuales sobre los cuales se puede utilizar para hacer proyecciones, éstas sirven para poder identificar patrones de tendencia o estacionalidad en el mercado. Las fuentes de información pueden ser primarias o secundarias como se detallan a continuación.

### 3.5.1 FUENTES PRIMARIAS

- 1) Libros de Finanzas, evaluación de proyectos y de diseño de plantas solares fotovoltaicas.
- 2) Sistemas de información geográfica.
- 3) Resultados obtenidos del Software PVsys.
- 4) Históricos de consumo de Energía (Facturas).
- 5) Cuestionario y Entrevista.

### 3.5.2 FUENTES SECUNDARIAS

- 1) Revistas Técnicas
- 2) Leyes o Legislaciones vigentes
- 3) Tesis y Estudios técnicos sobre sistemas fotovoltaicos

### 3.6 LIMITANTES DEL ESTUDIO

Las limitantes del estudio son todos aquellos factores que pueden impedir la obtención adecuada de la información para el marco teórico y metodología. A continuación, se presentan las limitaciones encontradas durante la elaboración de este estudio de prefactibilidad:

- 1) Tiempo, debido a la extensión de los horarios laborales, se contaba con una escasa disponibilidad en horas para elaborar esta investigación, esto se vio reflejado aún más durante el desarrollo de las entrevistas a expertos que quizás no se llegó a profundizar en algunos temas.
- 2) Acceso a los perfiles de consumo de los usuarios, debido a que esta información solo la podemos obtener de Empresa Energía Honduras (eeh), y el acceso es muy restringido lo cual fue una limitante de mucho peso en nuestro proyecto.
- 3) Disponibilidad de entrevista con experto, ya que no se logró entrevistar a todos los expertos en instalación de sistemas solares y fotovoltaicos, por lo que las preguntas se contestaron según los resultados obtenidos en las simulaciones y del análisis financiero.

## **CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS**

En los capítulos anteriores se desarrolló el planteamiento del problema, se construyó la perspectiva teórica que nos brinda los fundamentos teóricos del proyecto en cuestión y se definió una metodología que permite dar un orden lógico al estudio por medio de las variables independientes y sus dimensiones. Todo lo anterior sirve de guía para este capítulo, en donde se pretende exhibir los resultados obtenidos del análisis técnico y financiero. El análisis de estos permite comprobar la hipótesis establecida y responder a las preguntas de investigación.

### **4.1 ANÁLISIS DE INDICADORES TÉCNICOS**

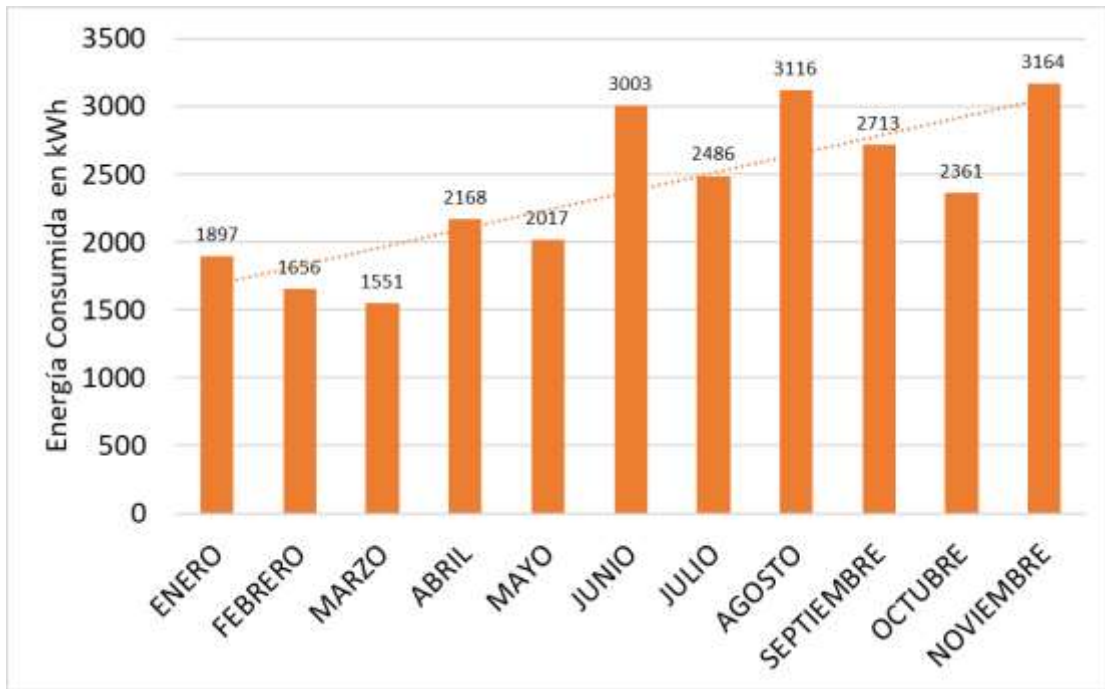
Para evaluar la viabilidad técnica de los sistemas solares fotovoltaicos instalados al ras del techo en viviendas del sector residencial de San Pedro Sula, se desarrollaron dos modelos de estudio para poder simular el comportamiento típico de estos sistemas. Se presenta a continuación los resultados obtenidos en las simulaciones realizadas para;

#### **4.1.1 MODELO #1**

Para este modelo se ha seleccionado un usuario con un consumo mensual de energía eléctrica mayor a 300 kWh, residente en la zona residencial de San Pedro Sula.

##### **4.1.1.1 ANÁLISIS DE CARGA**

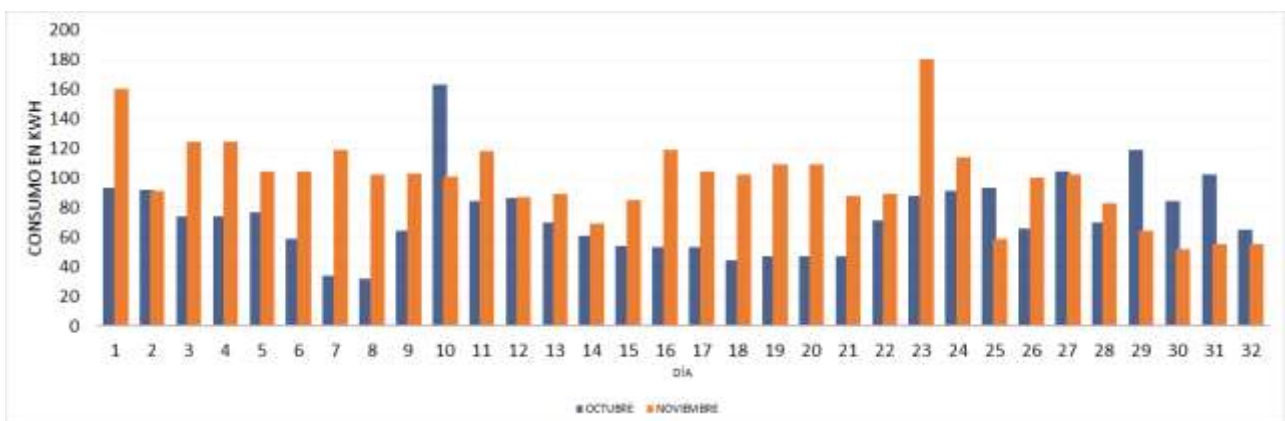
Para un correcto dimensionamiento de la planta solar, acorde con las necesidades de consumo, se realizó un análisis a la red eléctrica del Usuario. Este análisis se realizó en primer lugar mediante la revisión de las facturas de consumo brindadas por el usuario #1 y del histórico mensual de energía eléctrica consumida brindado por la Empresa Energía Honduras (eeh), el cual se presenta en la figura 27.



**Figura 27. Histórico de consumo diario en kWh**

Fuente: (Empresa Energía Honduras, 2018)

De la información presentada en la figura 27, se obtiene un consumo mensual promedio de 2375.64 kWh. El cuál se usará como base para el dimensionamiento de la planta. En segundo lugar, el análisis de carga se realizó mediante el histórico de consumo diario durante los meses de octubre y noviembre del 2018, brindado por la Empresa Energía Honduras (eeh), el cual se presenta en la figura 28.



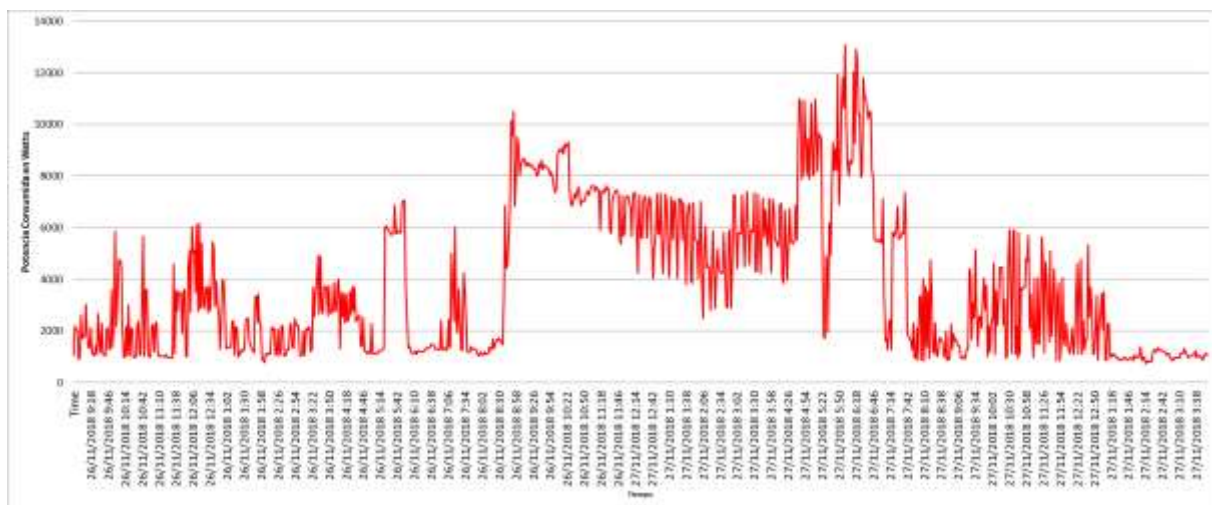
**Figura 28. Histórico de consumo diario en kWh**

Fuente: (Empresa Energía Honduras, 2018)

De la información presentada en la figura 28, se obtiene la potencia mínima, máxima y media que:

- 1) Energía mínima consumida: 32 kWh/día
- 2) Energía Máxima consumida: 180 kWh/día
- 3) Energía promedio consumida: 86 kWh/día

Los días que registran un mayor consumo de energía coinciden con los días en que se hace limpieza a la piscina donde vacían el agua acumulada y posterior a la limpieza la llenan nuevamente. Los valores antes descritos ayudaran con la optimización de la capacidad en Kilo Watts pico de la planta Solar. En tercer lugar, para poder optimizar el tamaño de la planta solar, fue necesario identificar qué porcentaje de energía eléctrica es consumida durante el día. Por lo que se instaló un analizador de red modelo PDA 1252 – 1A al panel principal de distribución de energía del Usuario #1. El gráfico mostrado en la figura 29 se obtuvo de la medición realizada entre el lunes 26 al martes 27 de noviembre del 2018.



**Figura 29. Perfil de carga Usuario #1**

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico mostrado en la Figura 29, se observa que el mayor consumo de energía ocurre durante la noche. Se obtiene también, la potencia mínima, máxima y media que el Usuario #1, utiliza durante el día donde se registraron los siguientes Valores:



**Tabla 7. Análisis del perfil de carga**

PERIODO	POTENCIA CONSUMIDA kW	POTENCIA MINIMA kW	POTENCIA MAXIMA kW
DÍA	680474.12	785.14	7055.24
NOCHE	898046.46	802.32	13082.4
TOTAL	1578520.59		

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados presentados en la tabla 7, se observa que el 60% de la energía se consume durante la noche y el 40% durante el día. Esta información es vital para optimizar el tamaño de la planta solar en kWp.

#### 4.1.1.2 IRRADIACIÓN SOLAR

Las cifras de irradiación solar han sido tomadas de la base de datos NASA el cuál es un sistema de información geográfica de alta resolución. Las capas de datos primarios incluyen radiación solar, temperatura del aire y terreno (elevación, horizonte), según se muestra en la tabla 8.

**Tabla 8. Información geográfica**

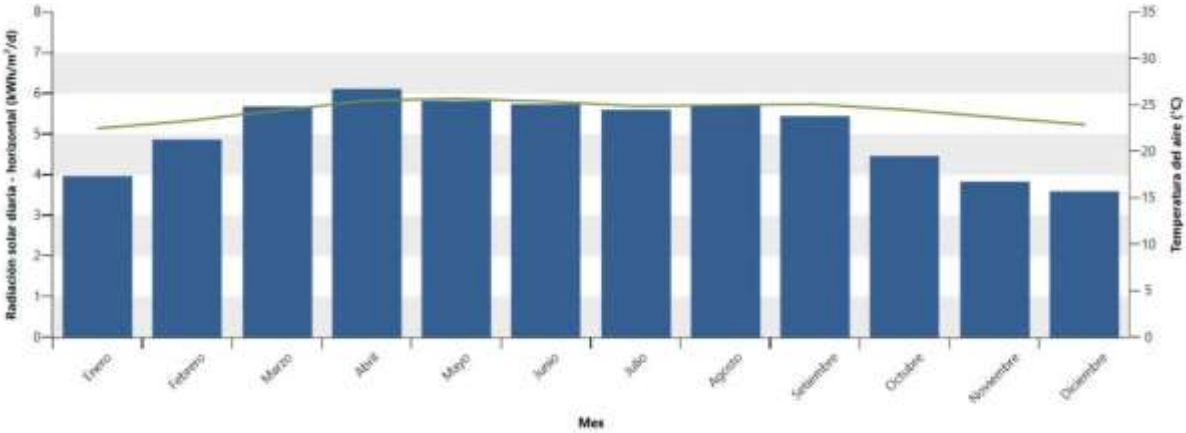
	Unidad	Ubicación de datos meteorológicos	Localización de la instalación	Fuente
Latitud		15.6	15.6	NASA
Longitud		-88.0	-88.0	NASA - Mapa
Zona climática		IA - Muy caliente - Húmedo		NASA
Elevación	m	390	45	NASA
Temperatura de diseño de la calefacción	°C	19.3		NASA
Temperatura de diseño del aire acondicionado	°C	29.4		NASA
Amplitud de la temperatura del suelo	°C	6.1		NASA

Mes	Temperatura del aire °C	Humedad relativa %	Precipitación mm	Radiación solar diaria - horizontal kWh/m <sup>2</sup> /d	Presión atmosférica kPa	Velocidad del Viento m/s	Temperatura del suelo °C	Días-grado de calentamiento TB °C	Días-grado de enfriamiento 10 °C
Enero	22.5	75.2%	59.99	3.96	96.7	3.6	23.7	0	388
Febrero	23.3	71.3%	47.47	4.87	96.6	3.5	24.6	0	372
Marzo	24.4	66.5%	38.18	5.68	96.5	3.3	26.0	0	446
Abril	25.5	65.8%	34.49	6.12	96.4	3.2	27.5	0	465
Mayo	25.7	72.0%	120.13	5.81	96.3	2.7	27.4	0	487
Junio	25.4	77.3%	228.27	5.74	96.4	2.9	26.6	0	462
Julio	24.9	77.0%	228.84	5.61	96.5	3.1	26.3	0	462
Agosto	25.0	77.2%	231.32	5.72	96.5	2.7	26.5	0	465
Setiembre	25.1	77.8%	240.88	5.45	96.3	2.5	26.6	0	453
Octubre	24.5	78.8%	257.15	4.46	96.4	2.8	25.9	0	450
Noviembre	23.7	77.9%	130.29	3.84	96.5	3.2	24.9	0	411
Diciembre	22.9	76.7%	85.90	3.60	96.6	3.6	24.1	0	400
<b>Anual</b>	<b>24.4</b>	<b>74.5%</b>	<b>1,702.91</b>	<b>5.07</b>	<b>96.5</b>	<b>3.1</b>	<b>25.9</b>	<b>0</b>	<b>5,260</b>
Fuente	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA
Medido a					m	10	0		

Fuente: (NASA, 2018)

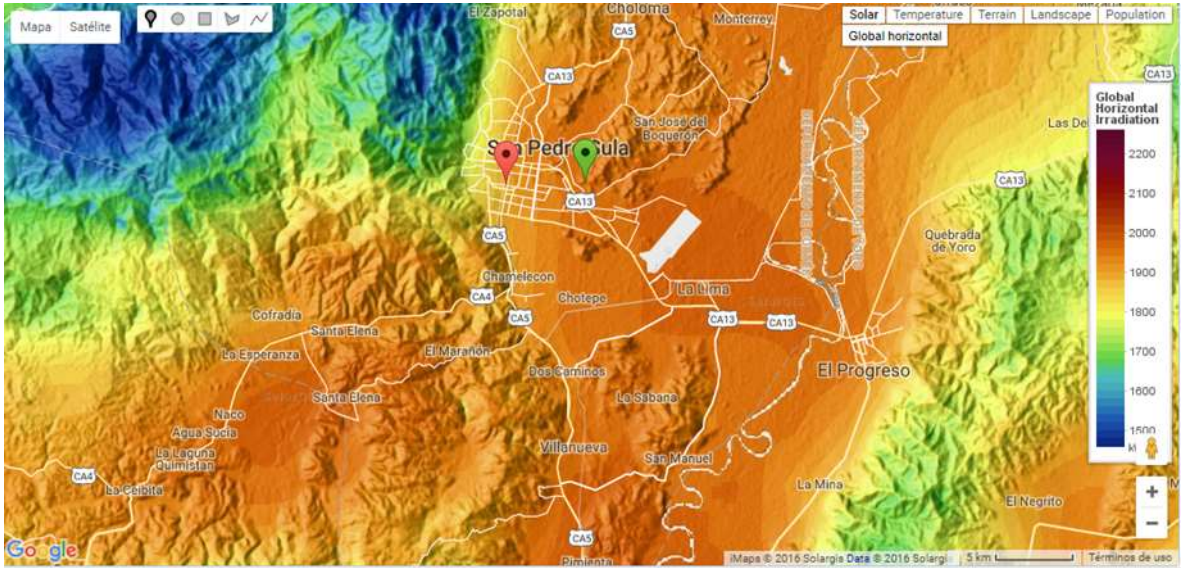
De la tabla 8, se obtiene que el nivel de irradiación solar por año en San Pedro Sula es de 5.07 kWh/m<sup>2</sup>, para una temperatura del aire de 24.4 °C, tomados a una elevación de 45 metros sobre el nivel del mar. De acuerdo con la información presentada en el marco teórico de esta investigación datos meteorológicos varían durante el año, debido a los cambios climáticos de la zona según se muestra en la figura 30.



**Figura 30. Radiación solar diaria – horizontal**

Fuente: (NASA, 2018)

En la figura 30, se observa que entre los meses de marzo y agosto se obtienen los niveles de radiación solar y temperatura más altos, temporada que coincide aproximadamente con la temporada de verano. De acuerdo con la información aquí presentada San Pedro Sula, cuenta con el recurso solar adecuado para la instalación de la planta solar, según se indica en el mapa solar de la Figura 31.



**Figura 31. Mapa Solar**

Fuente: (SolarGIS imap, 2016)

La figura 31, ilustra la disponibilidad del recurso solar disponible en San Pedro Sula, según una escala de color, donde los colores cálidos representan una mayor disponibilidad de irradiación global y los tonos fríos representan zonas con bajos niveles de irradiación global. De acuerdo con esta categorización por color, San Pedro Sula cuenta con un índice de radiación global entre 1800 a 2000 kWh/m<sup>2</sup>.

#### 4.1.1.3 PRODUCCIÓN

En esta sección, se identifican que todas aquellas condiciones que afectan la producción de energía solar, según la distribución y tipos de techos, adicionalmente se estima el porcentaje de energía consumida puede ser cubierto por la planta solar, así como todas las condiciones que debe cumplir el sistema para poder sincronizarse con la planta solar.

##### 4.1.1.3.1 UBICACIÓN

El Usuario #1 está ubicado en el Barrio Rio de piedras, 5 calle suroeste entre 21 y 22 avenida de la ciudad de San Pedro Sula del departamento de Cortés. Con los siguientes puntos coordenados;

Latitud: 15.504731° N

Longitud: -88.042512° O

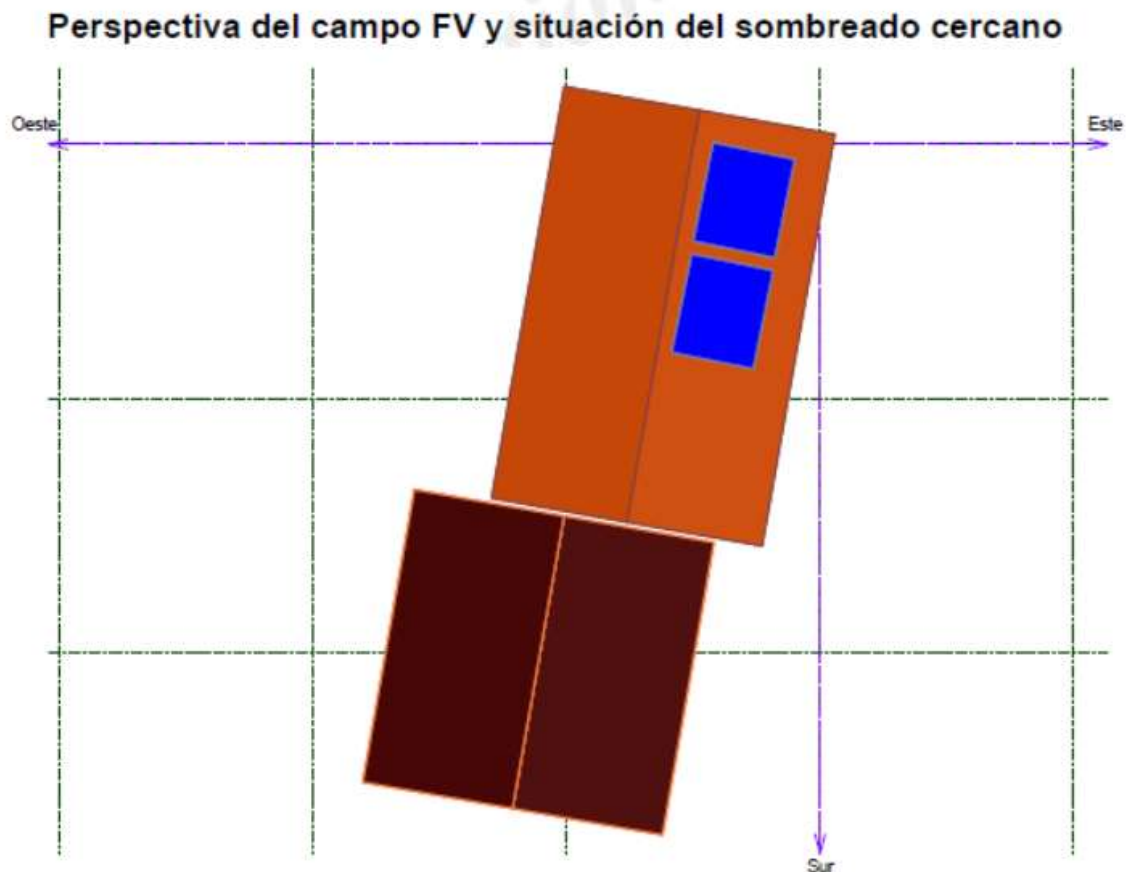
Altitud: 0 msnm



**Figura 32. Ubicación geográfica usuario #1**

Fuente: (Google Earth Pro, 2018)

El Usuario #1 cuenta con un área techada de 140 metros cuadrados en frente del área de la piscina según se muestra en la Figura 32, la cuál será utilizada para la instalación de los paneles solares. Durante el levantamiento de campo se observó que el área disponible para la instalación de los módulos fotovoltaicos es un techo a dos aguas cuya dirección va de norte a sur, es decir los módulos fotovoltaicos no estarán instalados directamente al sur, tendrán un ángulo de inclinación (acimut =  $-79^\circ$ ), según se muestra en la figura 33.

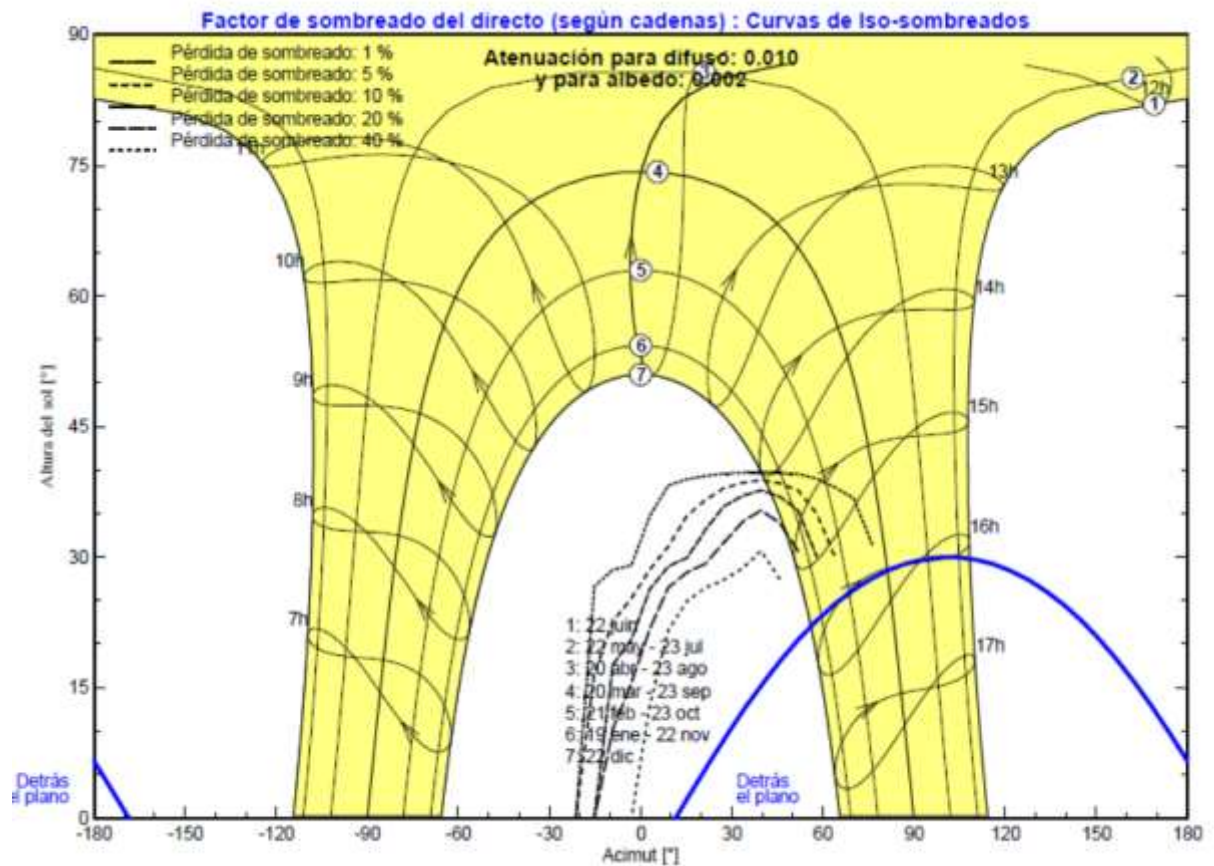


**Figura 33. Análisis de sombras**

Fuente: (PVsyst 6.0.1, 2018)

En la figura 33, se observa que, por la cercanía con la casa de dos niveles ubicada en el mismo terreno, exactamente al sur del área techada y de acuerdo con la trayectoria del sol que va del este al oeste durante el día, se proyectan algunas sombras a partir de las tres de la tarde sobre el área techada. Las sombras cercanas detectadas impactarán con los paneles solares en horas de baja generación a partir de las 3:00 pm, por lo que estas no son un obstáculo para la instalación de la planta solar.

La figura 34, muestra el diagrama de iso-sombreados, es decir una representación esquemática de la variación del acimut a lo largo del año.



**Figura 34. Diagrama de Iso-sombreados**

Fuente: (PVsyst 6.0.1, 2018)

En la figura 34, se presenta la proyección del sol en siete diferentes temporadas del año, así como el porcentaje de pérdidas por sombra en cada temporada. Se observa cómo es de variable la producción de una planta solar, pues depende totalmente de las condiciones climáticas.

#### 4.1.1.3.2 DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA SOLAR

Para el dimensionamiento de la planta solar, es necesario establecer el promedio de energía eléctrica consumida en kilovatio-hora/día, este cálculo debe considerar por lo menos los últimos seis meses y se presenta en la tabla 9.

**Tabla 9. Calculo de energía promedio diaria**

Mes	Energía en KWh	Días Facturados	KWh/día
<b>ENERO</b>	1897	30	63.23
<b>FEBRERO</b>	1656	30	55.20
<b>MARZO</b>	1551	31	50.03
<b>ABRIL</b>	2168	30	72.27
<b>MAYO</b>	2017	32	63.03
<b>JUNIO</b>	3003	28	107.25
<b>JULIO</b>	2486	29	85.72
<b>AGOSTO</b>	3116	31	100.52
<b>SEPTIEMBRE</b>	2713	31	87.52
<b>OCTUBRE</b>	2361	32	73.78
<b>NOVIEMBRE</b>	3164	32	98.88
<b>DICIEMBRE</b>		30	
<b>PROMEDIO</b>	2375.64		77.95

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la información presentada en la Tabla 7, se estima que solo el 40% de esta energía es aprovechada durante el día Solar. Entonces la energía eléctrica en kilovatio – hora en un día solar es igual a;

$$\text{Energía (kWh/día)} \times 40\% = 31.18 \text{ kWh}$$

Finalmente, para determinar la capacidad nominal de la planta solar en kilowatts pico, debemos dividir la energía eléctrica en kilovatio – hora en un día solar, entre la cantidad de horas solares disponibles, de acuerdo a;

$$\text{Potencia Nominal de la planta (kWp)} = \frac{31.18 \text{ kWh}}{10} = 3.12 \text{ kWh}$$

#### 4.1.1.3.3 DESCRIPCIÓN DE LA RED

¿Qué condiciones o parámetros eléctricos debe cumplir el sistema para la instalación de la planta?

“El ingeniero Ávila declaró recientemente que los sistemas solares debían diseñarse de acuerdo con las recomendaciones técnicas presentadas en la norma NFPA 70”. (S. Ávila, comunicación personal, 4 de diciembre de 2018).

Además, deben considerarse las características del sistema, entre ellos; el nivel de voltaje (240 – 208 Volt), el tipo de sistema si es monofásico o trifásico, la estabilidad del sistema y si se dispone de un buen sistema de puesta a tierra. Lo anterior es importante porque el inversor que se dimensiona para la planta solar debe poder sincronizarse con la red eléctrica de distribución.

#### 4.1.1.4 EFICIENCIA

¿Qué tipo de tecnología de módulos solares se recomienda para instalaciones del sector residencial?

“El ingeniero Sabillon declaró que recomienda los módulos policristalinos porque son más baratos en comparación con los módulos monocristalinos u otras tecnologías existentes, y además porque para este tipo de usuarios ubicados en zonas residenciales no se ocupan módulos de alta eficiencia”. (H. Sabillón, comunicación personal, 3 de diciembre de 2018).

Se entrevistaron tres expertos en diseño e instalación sistemas Solares fotovoltaicos y todos coincidieron con lo descrito anteriormente.

“El ingeniero Ávila afirma que los módulos policristalinos son más eficientes en climas cálidos o con las condiciones climáticas de San Pedro Sula y también se obtienen a un menor costo en comparación con los módulos monocristalinos que fueron diseñados para las condiciones climáticas de Europa”. (S. Ávila, comunicación personal, 4 de diciembre de 2018). El dimensionamiento de la planta solar debe cuidar que los módulos fotovoltaicos cumplan con las normas u estándares vigentes y aplicables en el sitio del proyecto. Debido a las distintas exigencias climáticas los módulos fotovoltaicos deben cumplir como mínimo los requisitos establecidos por;

1) IEC y otros certificados de módulos fotovoltaicos.

El cumplimiento de la última versión de las siguientes normas IEC, incluidos los certificados, es crucial; IEC 61215 Ed. 2, IEC 61730, IEC 61730 - Calificación de seguridad del módulo fotovoltaico (PV) y IEC 61701 - Prueba de corrosión por niebla salina.

#### 4.1.1.5 CONFIABILIDAD

¿Cómo se puede mejorar la confiabilidad de un sistema solar fotovoltaico instalado en sistemas residenciales? “El ingeniero Perdomo comenta que el nivel de confiabilidad de una planta puede mejorarse significativamente instalando un banco de baterías”. (R. Perdomo, comunicación personal, 3 de diciembre de 2018). Por su parte “El ingeniero Sabillon menciona que se puede mejorar significativamente la confiabilidad instalando más módulos fotovoltaicos que los requeridos, dividir la capacidad de los inversores por unidades más pequeños, instalando baterías”. (H. Sabillón, comunicación personal, 3 de diciembre de 2018). De acuerdo a lo anteriormente citado para un correcto dimensionamiento de la planta solar se acostumbra como mínimo tener un factor de planta de igual o mayor al 20%.

#### 4.1.1.6 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

En esta sección, se presenta la capacidad en kilo vatios pico de la planta solar junto con las características típicas dimensionadas, se presenta también el total de energía eléctrica que se estima puede generar la planta solar.

##### 4.1.1.6.1 DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA SOLAR

Tomando en cuenta la demanda de potencia y el espacio disponible del Usuario #1 se ha dimensionado la siguiente planta solar fotovoltaica, El cálculo siguiente considera un factor de planta igual al 20% considerando la recomendación de los expertos entrevistados, para una eficiencia del inversor igual al 94% de acuerdo a los datos de placas del inversor utilizado para

$$Potencia Nominal de la planta (kWp) = \frac{3.12 kWh * 1.2}{0.94} = 4 kWh \text{ Optimizado}$$

este estudio.

La tabla 10, presenta un resumen con las características principales de la planta solar;



**Tabla 10. Características generador FV**

<b>Módulo FV</b>	Si-poly Modelo CS6X - 260P	Fabricante Canadian Solar Inc.
Número de módulos FV	En serie 8 módulos	En paralelo 2 cadenas
Nº total de módulos FV	Nº módulos 16	Pnom unitaria 260 Wp
Potencia global generador	Nominal (STC) 4160 Wp	En cond. funciona. 3703 Wp (50°C)
Caract. funcionamiento del generador (50°C)	V mpp 248 V	I mpp 15 A
Superficie total Superficie	módulos 30.7 m <sup>2</sup>	Superf. célula 28.0 m <sup>2</sup>
<b>Inversor</b>	Modelo CPS SCE4KTL-O/US-240	Fabricante ChintPower
Características	Tensión Funciona. 105-500 V	Pnom unitaria 4.00 kW AC

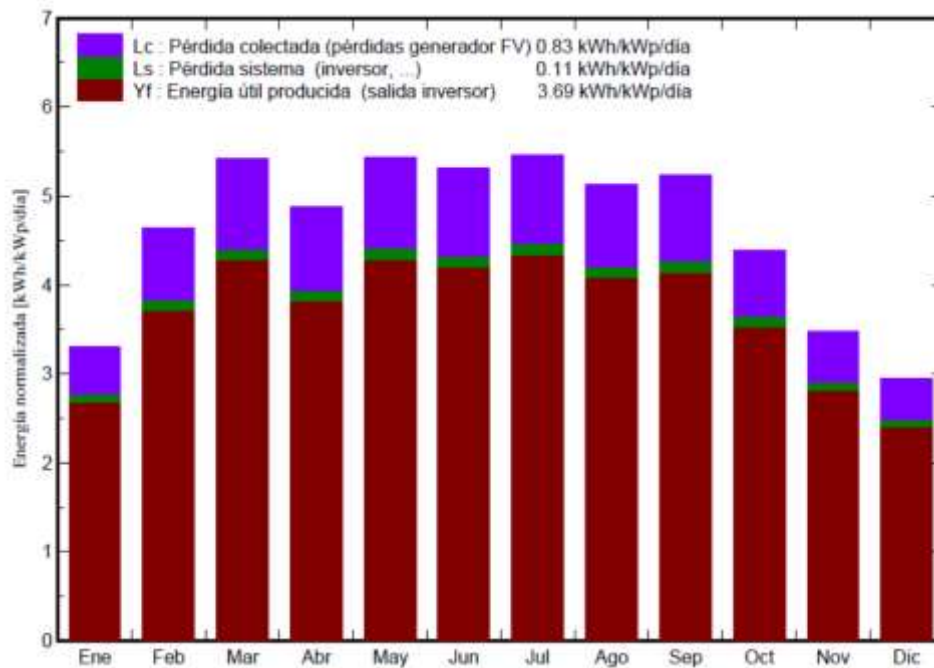
Fuente: (PVsyst 6.0.1,2018)

La tabla 10, describe lo siguiente: el generador fotovoltaico está formado por 16 módulos fotovoltaicos policristalinos, distribuidos en dos cadenas o String que se conectan en paralelo en la entrada del inversor, cada cadena contiene 8 módulos que se conectan en serie. El generador fotovoltaico requiere un área igual 30.7 m<sup>2</sup> de la superficie del techo disponible. Se observa también los parámetros de potencia, voltaje y corriente de la planta solar en condiciones nominales de funcionamiento.

El inversor fotovoltaico, utilizado para la simulación está diseñado para operar con una tensión máxima de 500 Voltios, y una tensión mínima de 105 Voltios, con un voltaje nominal de 240 Voltios. Modelo CPS SCE4KTL-O/US 240 del fabricante CHINT POWER.

#### 4.1.1.6.2 CONFIGURACIÓN DE LA PLANTA SOLAR

La figura 35, nos indica los resultados de la simulación realizada en el software de diseño PVsyst. Presenta a manera de resumen el total de energía que es normalizado por la red en kWh/kWp/ día;



**Figura 35. Producciones normalizadas (kWh/kWp/día)**

Fuente: (PVsyst 6.0.1, 2018)

La figura 35, muestra que el total de energía útil a la salida del inversor es de 3.69 kWh, si a esta energía le sumamos las pérdidas por del inversor y las perdidas colectadas por el inversor (Sombras) se obtiene a la entrada del generador solar una energía igual 4.63 kWh, que se traduce en un factor de rendimiento (eficiencia) igual al 79.69 %.

La tabla 11, presenta a manera de resumen los principales resultados de la información, es decir el comportamiento promedio esperado de la planta solar en un año de consumo.

**Tabla 11. Principales resultados de la Simulación**

	GlobHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_Grid kWh	EffArrR %	EffSysR %
Enero	106.7	21.47	102.4	97.9	357.9	346.6	11.38	11.02
Febrero	131.7	22.97	130.0	125.3	446.1	433.1	11.18	10.86
Marzo	165.9	24.75	168.1	162.9	568.1	552.0	11.01	10.70
Abril	156.2	26.47	146.6	141.6	492.1	477.7	10.93	10.61
Mayo	182.2	26.39	168.6	162.9	569.3	553.1	11.00	10.68
Junio	174.6	25.73	159.6	154.2	540.4	524.8	11.03	10.71
Julio	182.2	25.13	169.2	163.8	576.0	559.7	11.09	10.77
Agosto	171.1	25.14	159.2	153.9	542.5	527.0	11.10	10.78
Septiembre	155.4	25.23	157.2	152.1	532.3	517.2	11.03	10.72
Octubre	141.3	23.92	136.2	131.3	469.9	456.1	11.24	10.91
Noviembre	104.4	22.51	104.3	100.4	363.5	352.1	11.35	11.00
Diciembre	93.7	21.59	91.5	87.6	320.9	310.3	11.42	11.04
Año	1765.4	24.28	1692.9	1634.0	5779.1	5609.7	11.12	10.79

Leyendas:	GlobHor	Irradiación global horizontal	EArray	Energía efectiva en la salida del generador
	T Amb	Temperatura Ambiente	E_Grid	Energía reinyectada en la red
	GlobInc	Global incidente plano receptor	EffArrR	Eficiencia Esal campo/superficie bruta
	GlobEff	Global efectivo, corr. para IAM y sombreados	EffSysR	Eficiencia Esal sistema/superficie bruta

Fuente: (PVsyst 6.0.1, 2018)

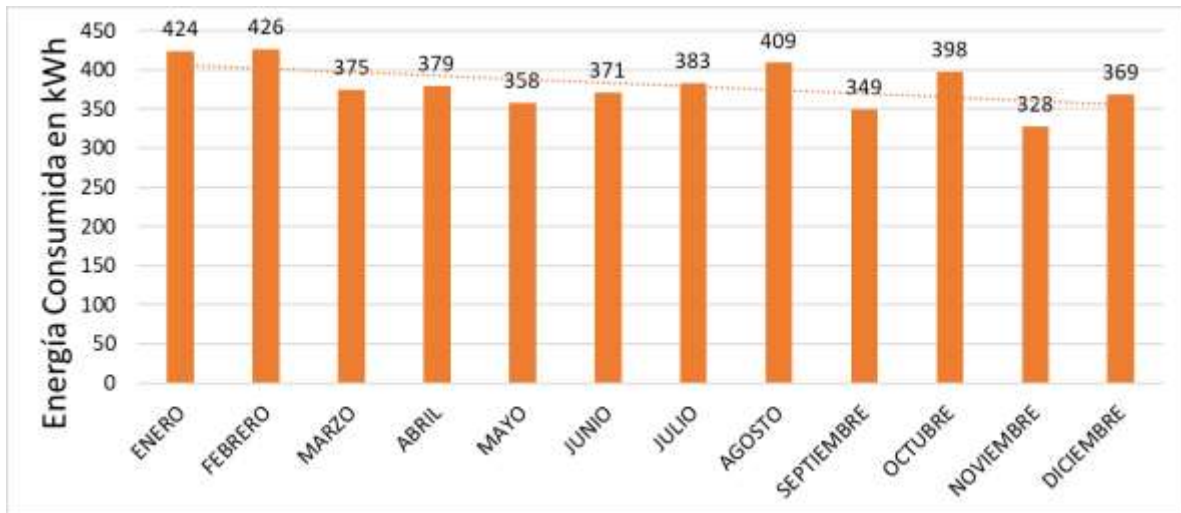
De la tabla 11, se observa que la energía reinyectada a la red (E\_Grid) mensualmente y anual por la planta solar, la cual presenta una producción promedio mensual de 467.47 kWh que equivale a una producción anual de 5,609.7 kWh. Se presenta en los anexos el reporte completo de la simulación.

#### 4.1.2 MODELO #2

Para este modelo se ha seleccionado un usuario con un consumo mensual de energía eléctrica menor o cerca de los 300 kWh, residente en la zona residencial de San Pedro Sula.

##### 4.1.2.1 ANÁLISIS DE CARGA

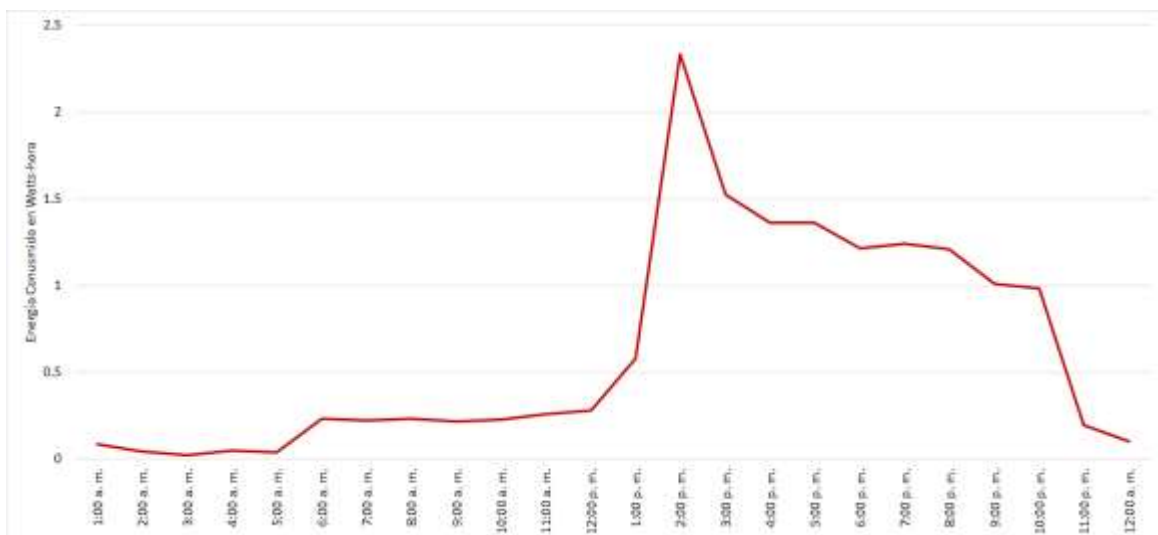
Para un correcto dimensionamiento de la planta solar, acorde con las necesidades de consumo, se realizó un análisis a la red eléctrica del Usuario. Este análisis se realizó en primer lugar mediante la revisión de las facturas de consumo brindadas por el usuario #1 y del histórico mensual de energía eléctrica consumida brindado por la Empresa Energía Honduras (eeh), el cual se presenta en la figura 36.



**Figura 36. Histórico de consumo diario en kWh**

Fuente: (Empresa Energía Honduras, 2018)

De la información presentada en la figura 36, se obtiene un consumo mensual promedio de 380.75 kWh. El cuál se usará como base para el dimensionamiento de la planta. En segundo lugar, para poder optimizar el tamaño de la planta solar, fue necesario identificar qué porcentaje de energía eléctrica es consumida durante el día. Por lo que se instaló un analizador de red modelo PDA 1252 – 1A al panel principal de distribución de energía del Usuario #2. El gráfico mostrado en la figura 37 se obtuvo de la medición realizada entre el miércoles 28 al jueves 29 de noviembre del 2018.



**Figura 37. Perfil de carga diario en kWh**

Fuente: Elaboración propia

Por el tipo de medidor que este usuario, tiene instalado, no es posible obtener con la Empresa Energía Honduras el histórico de consumo por día, pero de acuerdo a la información presentada en la figura 37, se observa que el mayor consumo de energía se realiza entre las 12:00 pm y 10:30 pm. Pero como el consumo mensual es menor a los 300 kWh, el consumo de energía diario es de 12.43 kWh, un consumo realmente pequeño. Durante las entrevistas realizada a expertos, se les consulto ¿Para qué perfiles de carga se recomienda una instalación solar fotovoltaica?

“El ingeniero Sabillon declaró que recomienda la instalación de la planta solar a usuarios con un consumo de energía mensual mayor de 1,500 kWh, y que al menos el 40% de esa energía sea consumida durante el día”. (H. Sabillón, comunicación personal, 3 de diciembre de 2018).

#### 4.1.2.2 DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA SOLAR

Para el dimensionamiento de la planta solar, es necesario establecer el promedio de energía eléctrica consumida en kilovatio-hora/día, este cálculo debe considerar por lo menos los últimos seis meses y se presenta en la tabla 12.

**Tabla 12. Calculo de energía promedio diaria**

Mes	Energía en KWh	Días Facturados	KWh/día
<b>ENERO</b>	424	30	14.13
<b>FEBRERO</b>	426	30	14.20
<b>MARZO</b>	375	31	12.10
<b>ABRIL</b>	379	30	12.63
<b>MAYO</b>	358	32	11.19
<b>JUNIO</b>	371	28	13.25
<b>JULIO</b>	383	29	13.21
<b>AGOSTO</b>	409	31	13.19
<b>SEPTIEMBRE</b>	349	31	11.26
<b>OCTUBRE</b>	398	32	12.44
<b>NOVIEMBRE</b>	328	32	10.25
<b>DICIEMBRE</b>	369	30	
<b>PROMEDIO</b>	380.75		12.53

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la información presentada en la Tabla 12, se estima que solo el 40% de esta energía es aprovechada durante el día Solar. Entonces la energía eléctrica en kilovatio – hora en un día solar es igual a;

$$\text{Energía (kWh/día)} \times 40\% = 5.01 \text{ kWh}$$

Finalmente, para determinar la capacidad nominal de la planta solar en kilowatts pico, debemos dividir la energía eléctrica en kilovatio – hora en un día solar, entre la cantidad de horas solares disponibles, de acuerdo a;

$$\text{Potencia Nominal de la planta (kWp)} = \frac{5.01 \text{ kWh}}{10} = 0.5012 \text{ kWh}$$

Tomando en cuenta la demanda de potencia y el espacio disponible del Usuario #2 se ha dimensionado la siguiente planta solar fotovoltaica, El cálculo siguiente considera un factor de planta igual al 20% para una eficiencia del inversor igual al 94%.

$$\text{Potencia Nominal de la planta (kWp)} = \frac{0.5012 \text{ kWh} * 1.2}{0.94} = 0.64 \text{ kWh}$$

Una potencia nominal igual a 0.64 kWh, es demasiado pequeña para recomendar la instalación de la planta solar, resulta que para usuarios con un consumo igual o menor a 300 kWh la instalación de la planta solar no es viable técnicamente.

## 4.2 ANÁLISIS FINANCIERO

De acuerdo con los resultados obtenidos en el estudio técnico y aplicando las diferentes formas para evaluar financieramente un proyecto descritas en la sección 2.2.6 del capítulo 2 de este informe, podremos entonces determinar la viabilidad financiera de las plantas solares presentadas en la sección anterior. Se presenta en esta sección el análisis financiero para el modelo #1, presentado en la sección 4.1.1;

### 4.2.1 INVERSIÓN

¿Cuál es el costo promedio de instalación de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red?. “El ingeniero Ávila afirma que el costo de instalación para el cliente final está por debajo de USD.2.00/Wp que equivale a 50 Lps/Wp instalado”. (S. Ávila, comunicación personal, 4 de

diciembre de 2018). Los otros expertos entrevistados coinciden que el costo por watt pico instalado puede variar entre 31.98 y 35.67 Lps.

Tomando un costo promedio 32.22 lps, se tiene el siguiente costo de inversión;

<i>Potencia Nominal de la planta (Wp)</i>		4000
Costo por Wp instalado	L	32.22
<b>Costo de Instalación de la planta</b>	<b>L</b>	<b>128,880.00</b>

¿Cuál es el costo promedio de instalación de los sistemas fotovoltaico con banco de baterías? “El ingeniero Ávila afirma que el costo de instalación de los sistemas aislados es variable pues depende del tamaño del banco de baterías”. (S. Ávila, comunicación personal, 4 de diciembre de 2018). En forma general;

“El ingeniero Sabillón afirma que el costo de instalación de los sistemas aislados puede ser de 4 a 6 veces más que el de un sistema conectado a red”. (S. Ávila, comunicación personal, 3 de diciembre de 2018).

Tomando un costo de instalación por watt instalado igual a 5 veces el costo de 161.1 Lps/Wp. Que incluye un sistema de respaldo con autonomía de 4 horas después del día solar, para la planta dimensionada en la sección 4.1.1.6.1 de este informe. Se tiene el siguiente costo de inversión;

<i>Potencia Nominal de la planta (Wp)</i>		4000
Costo por Wp instalado	L	161.10
<b>Costo de Instalación de la planta</b>	<b>L</b>	<b>644,400.00</b>

#### 4.2.2 COSTO DE CAPITAL

¿Actualmente se cuenta con el apoyo de unidades financieras para el financiamiento de este tipo de proyectos? Si su respuesta es afirmativa ¿Cuál es la tasa de interés? “El ingeniero Perdomo comenta que sabe solo de un par de instituciones que preste dinero para este tipo de proyectos que son Banco del País y Davivienda, pero no manejo las tasas”. (R. Perdomo, comunicación personal, 3 de diciembre de 2018).

Los demás expertos dijeron que no sabían si para este tipo de proyectos residenciales existían incentivos o programas de financiamiento. Por lo anterior se procedió a consultar en distintas instituciones bancarias, quienes indicaron que para estos proyectos aplican la misma tasa de interés que proyectos de consumo, según se indica en la tabla 13.

**Tabla 13. Tasas de interés vigentes en el sistema financiero nacional**

Institución Financiera	Tasa de interés
Ficohsa	22%
Davivienda	20%
Banpaís	17%
BAC	32%

Fuente: Entrevista a unidades financieras

De la tabla 13, obtenemos entonces la tasa mínima (17%), media (23%) y máxima (32%) para el financiamiento de instalación de sistemas solares en usuarios residenciales. Es importante considerar también que estas tasas de interés varían de acuerdo al costo de oportunidad de cada usuario.

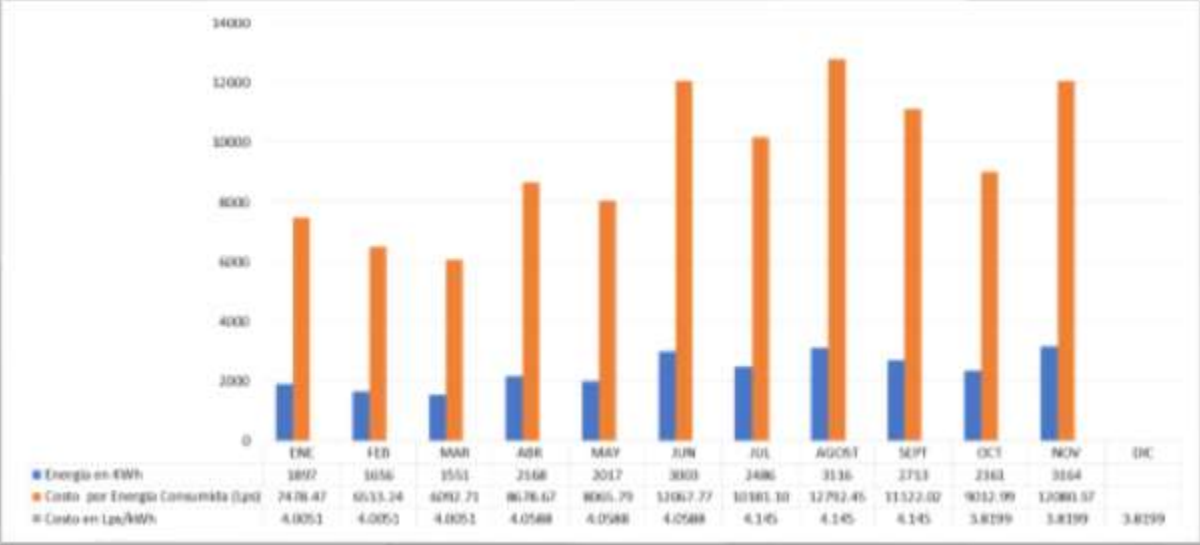
#### 4.2.3 AHORRO

¿Cuál es el porcentaje promedio de ahorro obtenido por la implementación de esta clase de sistemas?

Para poder estimar el porcentaje de ahorro obtenido por la implementación del sistema solar fotovoltaico, es importante evaluar el monto mensual que el usuario #1 paga a la Empresa



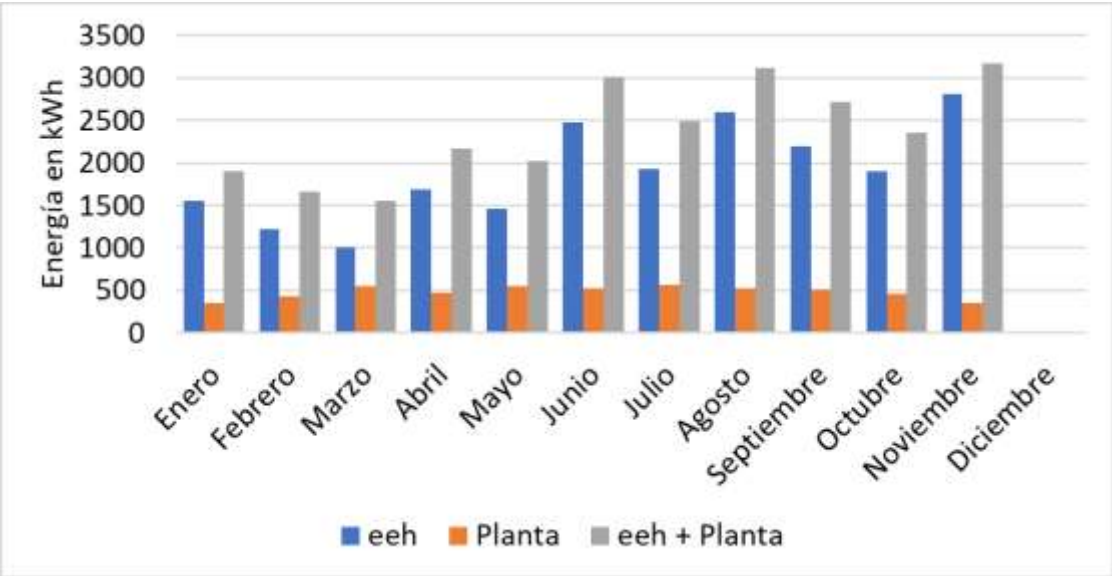
Energía Honduras. La figura 38, representa de forma gráfica el histórico de pagos del usuario desde enero a noviembre del 2018 y lo compara con el total de energía consumida.



**Figura 38. Comparación de Consumo de Energía VS Costo de Energía**

Fuente: (Empresa Energía Honduras, 2018)

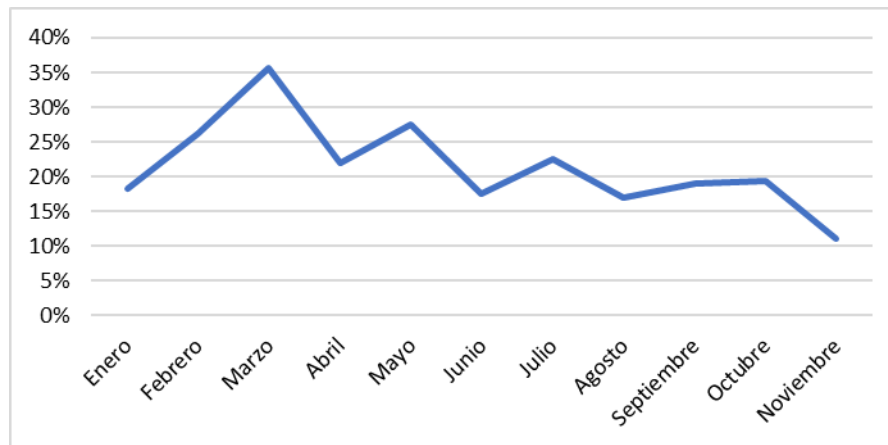
En la Figura 38, se observa un consumo de energía típico donde en los meses de la temporada de verano o cálidos presentan un mayor consumo de energía por la prolongación en el tiempo de uso de sistema de climatización. Sin embargo, se observa un incremento considerable en el costo del consumo de energía. En la figura 39, se presenta la comparación de la energía consumida vs la energía generada por la planta Solar.



**Figura 39. Energía total consumida**

Fuente: Elaboración propia

En la figura 39, es donde se representa el porcentaje de ahorro real de un sistema fotovoltaico conectado a la red, el cual varía por mes de consumo igual que la producción de la planta solar. En la figura 40, se proyecta el porcentaje de ahorro obtenido por la planta solar;



**Figura 40. Porcentaje de ahorro**

Fuente: Elaboración propia

La figura 40, es donde se representa el porcentaje de ahorro real de un sistema fotovoltaico conectado a la red, el cual varía por mes de consumo igual que la producción de la planta solar. Decir entonces que el porcentaje de ahorro de la planta solar es igual a un tanto por ciento de la energía consumida es erróneo, ya que únicamente se puede estimar un porcentaje de ahorro mínimo, medio y máximo de ahorro que se basa únicamente en estimaciones.

Para el caso anterior se tiene que el porcentaje de ahorro:

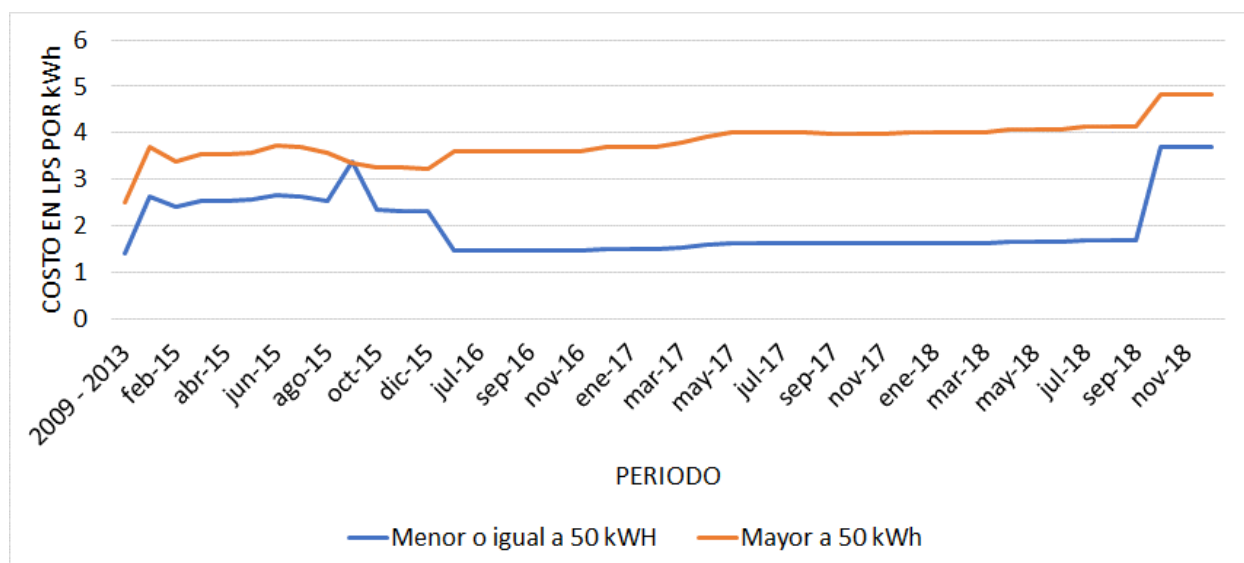
- 1) Mínimo: 11%
- 2) Medio: 21%
- 3) Máximo: 36%

Si el sistema solar fuese un sistema aislado, el porcentaje de ahorro sería del 100%.

#### 4.2.4 RENTABILIDAD

Para determinar la rentabilidad de la planta solar se realiza el análisis presentado en la Tabla 14; inicialmente se debe calcular el porcentaje de incremento en las tarifas por kWh proyectado a 20 años, ya que de acuerdo a los fabricantes de módulos solares e inversores estos equipos tienen una vida útil de 20 años. Para proyectar el crecimiento en las tarifas por kilovatio-hora,

se realizó un análisis del crecimiento histórico desde enero del año 2009 a noviembre del 2018. Según se muestra en la figura 41.



**Figura 41. Incremento histórico en tarifas de consumo periodo 2009 – 2018**

Fuente: La Gaceta

De la figura 39, se obtiene un incremento porcentual anual igual al 3% para los usuarios con consumo mayor a 50 kWh. En la tabla 14, se presenta un cuadro resumen, con la información obtenida anteriormente en el análisis técnico y financiero, necesaria para determinar la rentabilidad de un sistema conectado a red.

**Tabla 14. Cuadro Resumen sistema conectado a Red**

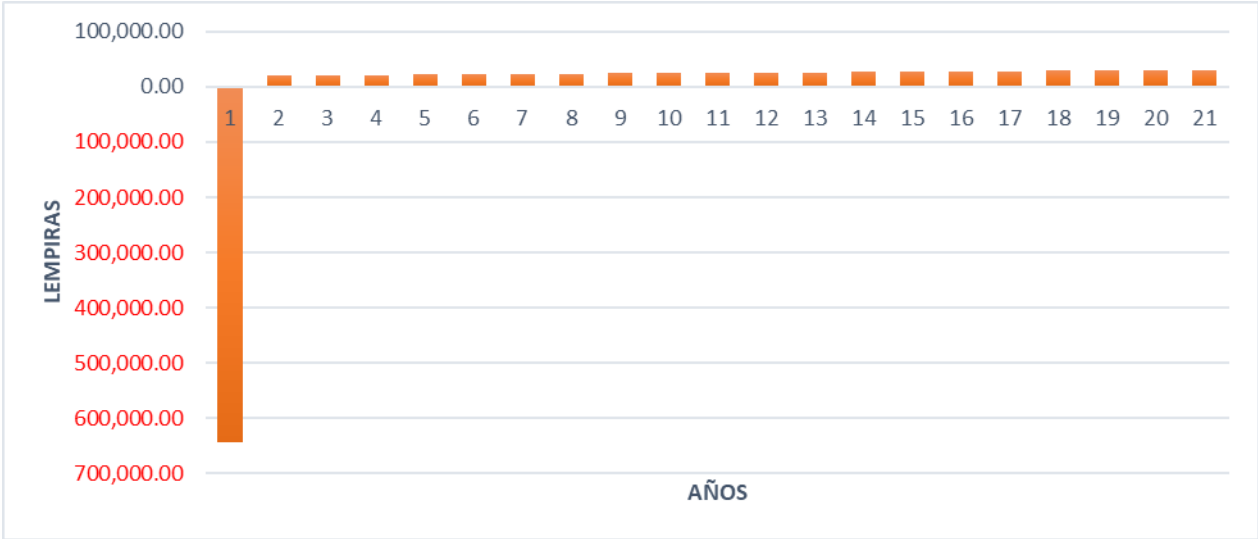
Item	Descripcion	Unidad	Total
1	Potencia de la planta solar picos	Kwp	4.00
2	Costo del KWH de energia ENEE	Lps	3.8199
3	Energia generada por la planta solar ofertada X mes	KWH	467.48
4	Energia generada por la planta solar ofertada X Año	KWH	5,609.70
5	Valor de la energia generadaX mes por la planta solar ofertada	Lps	1,785.71
6	Valor de la energia generadaX Año por la planta solar ofertada	Lps	21,428.49
7	Costo del KWp instalado	Lps	32,220.00
8	Costo total del planta solar ofertada	Lps	128,880.00
9	Tasa de interes de financiamiento minima	%	17%

**Tabla 15. Cálculo de rentabilidad sistema conectado a red**

Periodo	Ingresos teóricos Lps	% de envejecimiento	kWh/año con envejecimiento	% de incremento de la energía	Valor de la Energía KWH en el tiempo	INGRESOS NETOS Lps	Tasa de Oportunidad 17%				
							Egresos Lps	Neto Lps	Acumulado sin tasa de oportunidad	Flujos neto a VP	Acumulado con tasa de oportunidad
0		0%	0	0%	0		128.880.00	128.880.00	128.880.00	128.880.00	128.880.00
1	21.428.49	1%	5.609.70	3%	3.82	21.428.49		21.428.49	107.451.51	18.314.95	110.565.05
2	21.428.49	1%	5.553.60	3%	3.93	21.850.63		21.850.63	85.600.87	15.962.18	94.602.86
3	21.428.49	1%	5.498.07	3%	4.05	22.281.09		22.281.09	63.319.78	13.911.66	80.691.21
4	21.428.49	1%	5.443.09	3%	4.17	22.720.03		22.720.03	40.599.75	12.124.54	68.566.66
5	21.428.49	1%	5.388.66	3%	4.30	23.167.61		23.167.61	17.432.14	10.567.01	57.999.65
6	21.428.49	1%	5.334.77	3%	4.43	23.624.02		23.624.02	6.191.88	9.209.55	48.790.10
7	21.428.49	1%	5.281.42	3%	4.56	24.089.41		24.089.41	30.281.29	8.026.48	40.763.62
8	21.428.49	1%	5.228.61	3%	4.70	24.563.97		24.563.97	54.845.26	6.995.39	33.768.24
9	21.428.49	1%	5.176.32	3%	4.84	25.047.88		25.047.88	79.893.14	6.096.75	27.671.49
10	21.428.49	1%	5.124.56	3%	4.98	25.541.32		25.541.32	105.434.46	5.313.55	22.357.94
11	21.428.49	1%	5.073.31	3%	5.13	26.044.49		26.044.49	131.478.95	4.630.96	17.726.97
12	21.428.49	1%	5.022.58	3%	5.29	26.557.56		26.557.56	158.036.51	4.036.06	13.690.91
13	21.428.49	1%	4.972.35	3%	5.45	27.080.75		27.080.75	185.117.26	3.517.58	10.173.33
14	21.428.49	1%	4.922.63	3%	5.61	27.614.24		27.614.24	212.731.50	3.065.71	7.107.62
15	21.428.49	1%	4.873.40	3%	5.78	28.158.24		28.158.24	240.889.74	2.671.88	4.435.73
16	21.428.49	1%	4.824.67	3%	5.95	28.712.96		28.712.96	269.602.70	2.328.65	2.107.09
17	21.428.49	1%	4.776.42	3%	6.13	29.278.60		29.278.60	298.881.30	2.029.51	77.58
18	21.428.49	1%	4.728.66	3%	6.31	29.855.39		29.855.39	328.736.69	1.768.79	1.691.22
19	21.428.49	1%	4.681.37	3%	6.50	30.443.54		30.443.54	359.180.23	1.541.57	3.232.79
20	21.428.49	1%	4.634.56	3%	6.70	31.043.28		31.043.28	390.223.51	1.343.54	4.576.33

Fuente: Elaboración propia

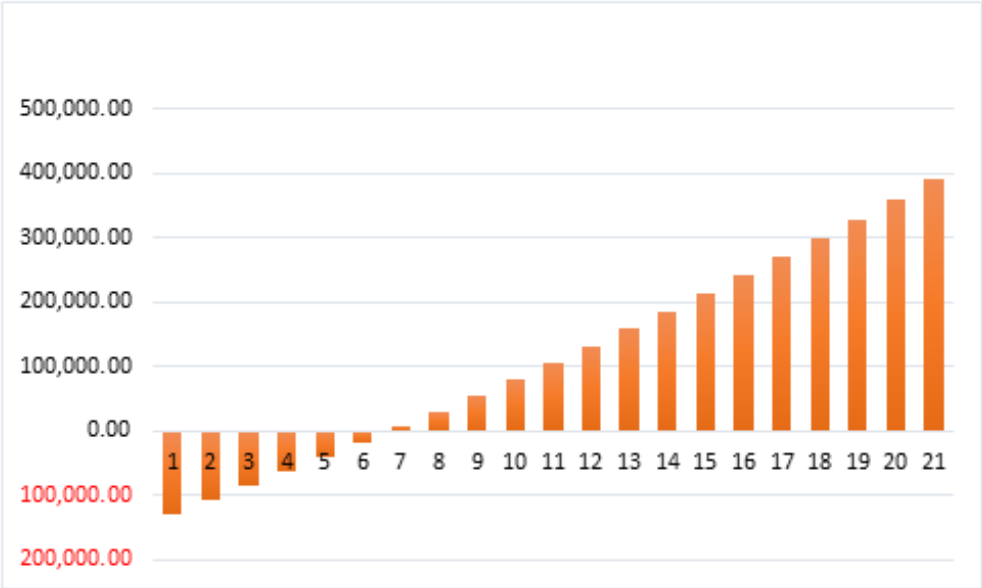
De la tabla 15, se obtiene la siguiente proyección de flujos, para las tasas de 17%, 23% y 32%, según se describen en la sección 4.2.2 de este informe. En la figura 42, se proyectan los flujos netos en lempiras que produce la planta solar a partir de la energía generada por el costo actual en kWh de las tarifas de consumo.



**Figura 42. Proyección de Flujos netos en Lps**

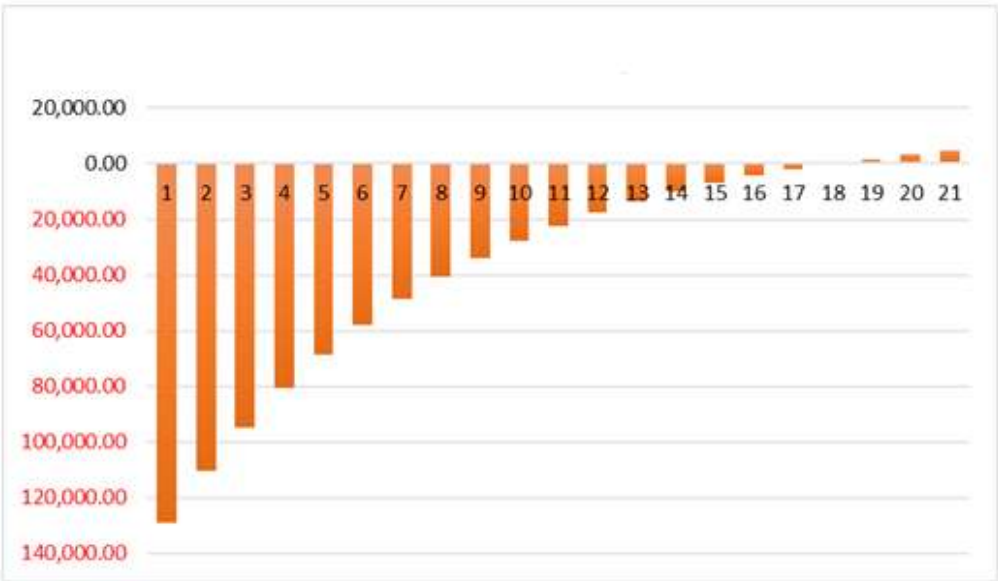
Fuente: Elaboración propia

Dichos flujos son obtenidos de la energía promedio en kWh generada anualmente por la planta. De la tabla 15 se observa que sin un costo de capital la inversión se recupera en 5.74 años, según se representa en la figura 43.



**Figura 43. Flujos acumulados sin tasa de oportunidad**

Para un costo de oportunidad igual al 17%, se obtiene los siguientes resultados que se muestran en la figura 44;



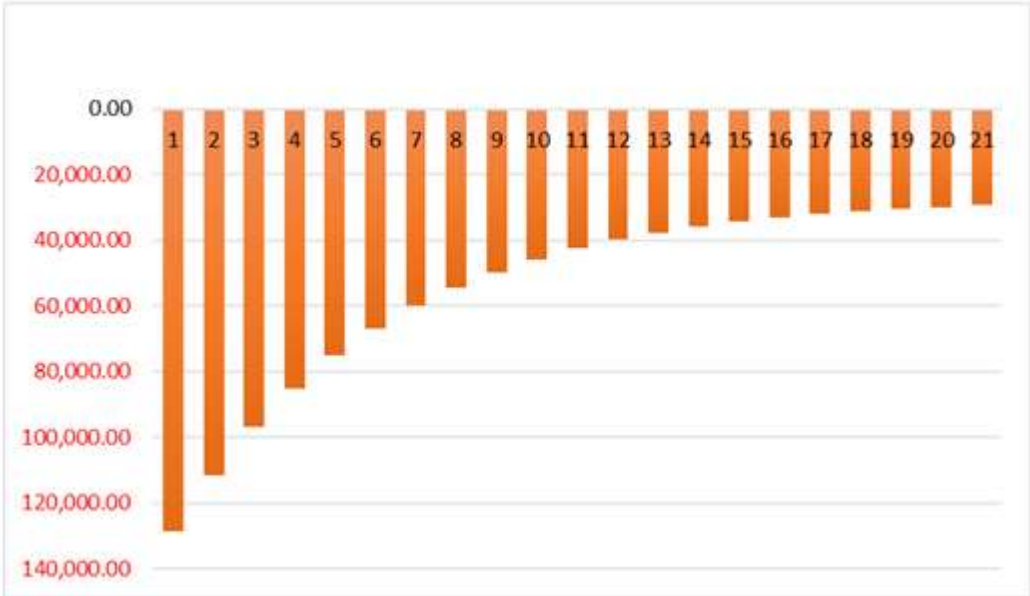
**Figura 44. Flujos acumulados con tasa de oportunidad del 17%**

De la figura 44, se obtiene lo siguiente;

<b>VPN</b>	<b>Lps. 4,576.33</b>
<b>TIR</b>	<b>17.61%</b>
<b>TRI CON COSTO DE CAPITAL</b>	<b>17.04 años</b>

Con los resultados obtenidos podemos concluir, que no es viable la implementación del proyecto debido a que el valor presente VPN es menor a la inversión, esto se debe a que la TIR a pesar de ser mayor al costo de oportunidad, el VPN no es significativo, se observa también que el tiempo de retorno de la inversión (TRI) es de 17 años.

Para un costo de oportunidad igual al 23%, se obtiene los siguientes resultados;



**Figura 45. Flujos acumulados con tasa de oportunidad del 23%**

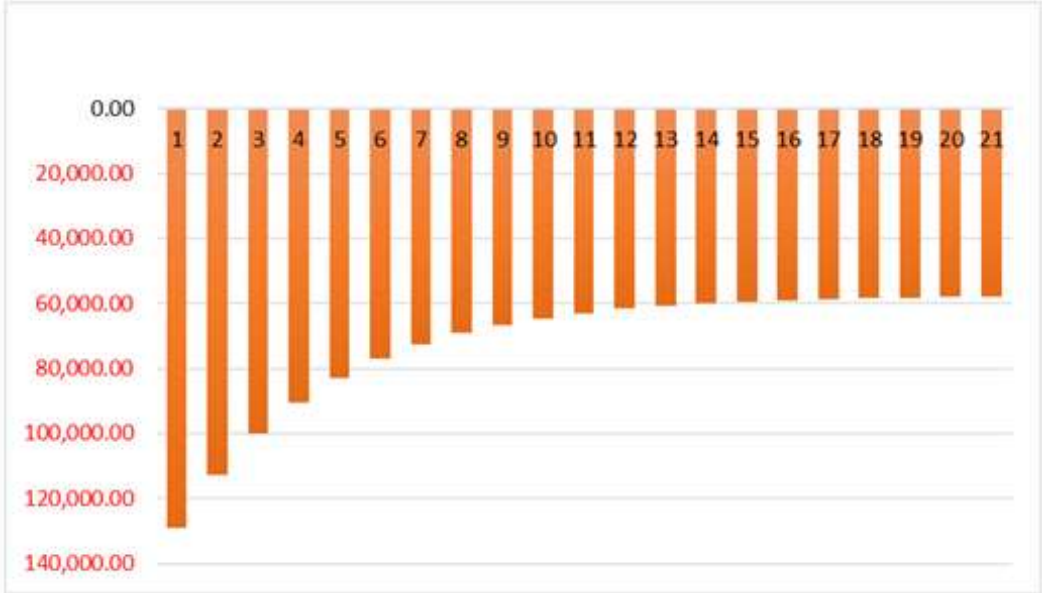
Fuente: Elaboración propia

<b>VPN</b>	<b>Lps. -29,381.19</b>
<b>TIR</b>	<b>17.61%</b>
<b>TRI CON COSTO DE CAPITAL</b>	<b>60.38 años</b>

Se observa que, el valor presente VPN es negativo, esto se debe a que la TIR es menor al costo de oportunidad, se concluye entonces que la implementación de la planta solar no es

viable para una tasa igual al 23%, además se observa un tiempo de retorno igual 60.38 años lo que equivale a tres veces el tiempo de vida útil de la planta.

Para un costo de oportunidad igual al 32%, se obtiene los siguientes resultados;



**Figura 46. Flujos acumulados con tasa de oportunidad del 32%**

Fuente: Elaboración propia

<b>VPN</b>	<b>Lps. -57931.748</b>
<b>TIR</b>	<b>17.61%</b>
<b>TRI CON COSTO DE CAPITAL</b>	<b>306.70 años</b>

Para un costo de oportunidad igual al 32%, la implementación de la planta solar no es viable. Debido a que el VPN es negativo y que el tiempo de retorno es igual a 306 años, lo que resulta ser exagerado.

**4.2.5 RENTABILIDAD DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO**

En la tabla 16, que se muestra a continuación se presenta el cálculo de rentabilidad para una planta solar aislada; por lo que se considera el costo descrito en la sección 4.2.2 y los resultados de viabilidad de la sección 4.2.4, por lo que para este análisis se considera únicamente el costo de oportunidad del 17%.

**Tabla 16. Cálculo de rentabilidad sistema aislado**

Periodo	Ingresos teóricos Lps	% de envejecimiento	kWh/año con envejecimiento	% de incremento de la energía	Valor de la Energía KWH en el tiempo	INGRESOS NETOS Lps	Tasa de Oportunidad		17%		
							Egresos Lps	Neto Lps	Acumulado sin tasa de oportunidad	Flujos neto a VP	Acumulado con tasa de oportunidad
0		0%	0	0%	0		644,400.00	644,400.00	644,400.00	644,400.00	644,400.00
1	21,428.49	1%	5,609.70	3%	3.82	21,428.49		21,428.49	622,971.51	18,314.95	626,085.05
2	21,428.49	1%	5,553.60	3%	3.93	21,850.63		21,850.63	601,120.87	15,962.18	610,122.86
3	21,428.49	1%	5,498.07	3%	4.05	22,281.09		22,281.09	578,839.78	13,911.66	596,211.21
4	21,428.49	1%	5,443.09	3%	4.17	22,720.03		22,720.03	556,119.75	12,124.54	584,086.66
5	21,428.49	1%	5,388.66	3%	4.30	23,167.61		23,167.61	532,952.14	10,567.01	573,519.65
6	21,428.49	1%	5,334.77	3%	4.43	23,624.02		23,624.02	509,328.12	9,209.55	564,310.10
7	21,428.49	1%	5,281.42	3%	4.56	24,089.41		24,089.41	485,238.71	8,026.48	556,283.62
8	21,428.49	1%	5,228.61	3%	4.70	24,563.97		24,563.97	460,674.74	6,995.39	549,288.24
9	21,428.49	1%	5,176.32	3%	4.84	25,047.88		25,047.88	435,626.86	6,096.75	543,191.49
10	21,428.49	1%	5,124.56	3%	4.98	25,541.32		25,541.32	410,085.54	5,313.55	537,877.94
11	21,428.49	1%	5,073.31	3%	5.13	26,044.49		26,044.49	384,041.05	4,630.96	533,246.97
12	21,428.49	1%	5,022.58	3%	5.29	26,557.56		26,557.56	357,483.49	4,036.06	529,210.91
13	21,428.49	1%	4,972.35	3%	5.45	27,080.75		27,080.75	330,402.74	3,517.58	525,693.33
14	21,428.49	1%	4,922.63	3%	5.61	27,614.24		27,614.24	302,788.50	3,065.71	522,627.62
15	21,428.49	1%	4,873.40	3%	5.78	28,158.24		28,158.24	274,630.26	2,671.88	519,955.73
16	21,428.49	1%	4,824.67	3%	5.95	28,712.96		28,712.96	245,917.30	2,328.65	517,627.09
17	21,428.49	1%	4,776.42	3%	6.13	29,278.60		29,278.60	216,638.70	2,029.51	515,597.58
18	21,428.49	1%	4,728.66	3%	6.31	29,855.39		29,855.39	186,783.31	1,768.79	513,828.78
19	21,428.49	1%	4,681.37	3%	6.50	30,443.54		30,443.54	156,339.77	1,541.57	512,287.21
20	21,428.49	1%	4,634.56	3%	6.70	31,043.28		31,043.28	125,296.49	1,343.54	510,943.67

Fuente: Elaboración propia

**VPN** **Lps** **-510,943.67**  
**TIR** **-2%**  
**TRI CON COSTO DE CAPITAL** **308.5 años**

De la tabla 16, se obtiene que la implementación de un sistema fotovoltaico aislado, en una casa de residencia no es viable.



## **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En este capítulo se presentan las conclusiones generales y se enuncian en función de los objetivos propuestos al inicio de la investigación en base a los resultados y análisis que se obtuvieron del capítulo anterior.

### **5.1 CONCLUSIONES**

En esta sección se presentan los argumentos y conclusiones basadas en el análisis de la información recolectada tanto en fuentes primarias, por medio de entrevistas a expertos en instalar sistemas solares fotovoltaicos a nivel de autoconsumo y de generación, resultados de las simulaciones realizadas en el software PVsyst, como también las fuentes secundarias.

- 1) Desde el punto de vista técnico la instalación de los sistemas solares fotovoltaicos en el sector residencial es viable para usuarios del sector residencial con un consumo mensual mayor a 300 kWh y no viable para usuarios con un consumo menor o igual a 300 kWh.
- 2) La implementación de un sistema solar aislado resulta ser no viable para los usuarios del sector residencial de San Pedro Sula.
- 3) Desde el punto de vista financiero la implementación de un sistema solar fotovoltaico no es viable, cuando el usuario o cliente final no dispone del capital necesario para invertir.
- 4) La implementación de un sistema solar fotovoltaico dentro del sector residencial tiene un costo de capital mayor que la TIR por lo tanto se acepta la hipótesis nula.
- 5) Determinamos que el costo- beneficio de implementar un sistema solar fotovoltaico es variable ya que depende de los siguientes indicadores técnicos: Perfil de carga, Nivel de irradiación y disposición o dirección de los techos con respecto al sur.

## 5.2 RECOMENDACIONES

A continuación, se presentan las siguientes recomendaciones;

- 1) Dado que en el análisis financiero el proyecto no es viable para un costo de capital igual o mayor al 17%, se recomienda la implementación de estos sistemas únicamente si se cuenta con fondos propios para invertir o costos de capital menor al 17%.
- 2) La implementación de un sistema solar se recomienda para aquellos usuarios que tengan un consumo mensual de energía mayor a 1500 kWh, y que consuman al menos el 40% de esa energía durante el día.
- 3) Para aumentar el porcentaje de ahorro mensual de estos sistemas se recomienda instalar un banco de baterías para reducir el costo de la energía consumida durante la noche.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Astro.uchile. (2018). Recuperado 17 de noviembre de 2018, de [http://www.astro.uchile.cl/glosario/E/ecuador\\_celeste.htm](http://www.astro.uchile.cl/glosario/E/ecuador_celeste.htm)

Atmosfera y clima. (2018). [Blog]. Recuperado 17 de noviembre de 2018, de [http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/AYC/document/atmosfera\\_y\\_clima/temperatura/tem p4\\_1.htm](http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/AYC/document/atmosfera_y_clima/temperatura/tem p4_1.htm)

Baca Urbina, G. (2010). Evaluación de proyectos. México, D.F.: McGraw-Hill.

BOLETIN ESTADISTICO ENEE. (2018, agosto).

Calendario Solar Año 2018 (Honduras). (s. f.). Recuperado 7 de noviembre de 2018, de <https://www.vercalendario.info/es/sol/honduras-ano-calendario-2018.html>

Empresa Energía Honduras. (s. f.). Recuperado 3 de noviembre de 2018, de <https://www.eeh.hn/es/inicio.html>

ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA - CARLOS MONTOYA RASERO.pdf. (s. f.).

ENF Ltd. (s. f.). Recuperado 17 de noviembre de 2018, de /pv/cell

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014b). Metodología de la investigación. México, D.F.: McGraw-Hill Education.

Honduras Laboral. (s. f.). Recuperado 7 de noviembre de 2018, de <https://honduraslaboral.org/article/las-jornadas-de-trabajo-segun-la-ley/>

IEEE POWER & ENERGY. (s. f.).

Inauguran en Honduras proyecto de energía solar más grande de AL. (s. f.). Recuperado 16 de noviembre de 2018, de <https://www.elheraldo.hn/economia/824427-216/inauguran-en-honduras-proyecto-de-energía-solar-más-grande-de-al>

Lamigueiro, O. P. (2018). *Energía Solar Fotovoltaica*, 186.

Li, J. (2018). Optimal sizing of grid-connected photovoltaic battery systems for residential houses in Australia. *Renewable Energy*.  
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.09.099>

Matriz Energética. (2018). Recuperado 16 de noviembre de 2018, de <http://www.enee.hn/index.php/noticias/noticias/156-periodistas/1527-matriz-energetica-renovables-remontan-generacion-termica-71-por-ciento-de-la-generacion-nacional-proviene-de-plantas-de-energia>

MBA News: Qué es la radiación solar. Tipos de radiación solar. (s. f.). Recuperado 17 de noviembre de 2018, de <http://mba-negocios.blogspot.com/2010/09/que-es-la-radiacion-solar-tipos-de.html>

Peralta Jaramillo, J., Delgado Plaza, E., Benitez, A., Neira, A., & Aveiga Ulloa, G. (2016). Evaluación de los sistemas de energización rural de la Isla de Cerrito de los Morreños en el Golfo de Guayaquil -Ecuador. En Proceedings of the 14th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Engineering Innovations for Global Sustainability”. Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions.  
<https://doi.org/10.18687/LACCEI2016.1.1.276>

Piñon Rizo, J. F. (2014a). *Energías renovables, la única solución*. México: DeLaSalle.

PVGraph1.BMP. (s. f.).

Ramos, I. G. (s. f.). *Energías Renovables bajo la Ley General de la Industria Eléctrica*, 27.

World Energy Consumption Statistics | Enerdata. (2018). Recuperado 10 de noviembre de 2018, de <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html>

## ANEXOS

### ANEXO 1. ENTREVISTA

#### Introducción:

Deseándole éxitos en sus proyectos y actividades diarias. Dada su experiencia profesional, méritos académicos y personales, me dirijo a usted para solicitar su valiosa colaboración completando el siguiente cuestionario, que tiene como finalidad recoger información directa para la investigación titulada: “VIABILIDAD TÉCNICA Y FINANCIERA DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS EN ZONAS RESIDENCIALES DE SAN PEDRO SULA” para obtener el grado académico de Máster en Finanzas del programa de maestrías de UNITEC campus SPS.

Usted deberá leer cuidadosamente cada enunciado y responder de acuerdo a su criterio y experiencia profesional. Se le agradece cualquier sugerencia relativa a la redacción, el contenido, la pertinencia y congruencia que considere relevante.

#### Preguntas:

- 1) ¿Qué tipo de tecnología de módulos solares se recomienda para instalaciones del sector residencial?
- 2) ¿Qué tipo de sistema fotovoltaico se recomienda para los usuarios del sector residencial?
- 3) ¿Qué porcentaje de Energía consumida puede ser cubierto por una planta Solar Fotovoltaica de acuerdo a las regulaciones energéticas vigentes?
- 4) ¿Qué condiciones afectan la producción de energía según la topología del lugar donde instalara la planta solar?
- 5) ¿Qué condiciones o parámetros eléctricos debe cumplir el sistema para la instalación de la planta?
- 6) ¿Cuál es el valor promedio de irradiancia típico en San Pedro Sula?
- 7) ¿Para qué perfiles de carga se recomienda una instalación solar fotovoltaica?
- 8) ¿Cómo se puede mejorar la confiabilidad de un sistema solar fotovoltaico instalado en sistemas residenciales?
- 9) ¿En qué casos se debe considerar un sistema de respaldo (baterías) para la instalación solar?
- 10) ¿Cuál es el costo promedio de instalación de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red?

- 11) ¿Cuál es el costo promedio de instalación de los sistemas fotovoltaico con banco de baterías?
- 12) ¿Actualmente se cuenta con el apoyo de unidades financieras para el financiamiento de este tipo de proyectos? Si su respuesta es afirmativa ¿Cuál es la tasa de interés?
- 13) ¿Cuál es el porcentaje promedio de ahorro obtenido por la implementación de esta clase de sistemas?
- 14) ¿Cuál es el tiempo de retorno en años para un sistema fotovoltaico conectado a la red?
- 15) ¿Cuál es el tiempo de retorno en años para un sistema fotovoltaico con banco de baterías?
- 16) ¿Existen incentivos legales que favorezcan la instalación de esta clase de sistemas?

**Cierre y Final:**

Muchas gracias por su valioso tiempo y por compartir sus conocimientos.

ANEXO 2. SIMULACIÓN EN SOFTWARE PV<sub>sys</sub>

**PLANTA SOLAR DE AUTOCONSUMO 4.2 KWP**  
USUARIO 1

**Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación**

**Proyecto :** Proyecto Conectado a la Red at San Pedro Sula Cortes - U1

**Lugar geográfico** San Pedro Sula Cortes - U1 País Honduras

**Ubicación** Latitud 15.6°N Longitud 88.0°W  
Hora definido como Hora Legal Huso hor. UT-6 Altitud 45 m

**Datos climatológicos** San Pedro Sula, Cortes Síntesis Meteonorm 6.1

**Variante de simulación :** Nueva variante de simulación

Fecha de simulación 10/12/18 12h32

**Parámetros de la simulación**

**Orientación Plano Receptor** Inclinación 30° Acimut -79°

**Modelos empleados** Transposición Perez Difuso Liu-Jordan

**Perfil obstáculos** Sin perfil de obstáculos

**Sombras cercanas** Según cadenas Efecto eléctrico 100 %

**Características generador FV**

**Módulo FV** Si-poly Modelo **CS6X - 260P**  
Fabricante Canadian Solar Inc.  
Número de módulos FV En serie 8 módulos En paralelo 2 cadenas  
N° total de módulos FV N° módulos 16 Pnom unitaria 260 Wp  
Potencia global generador Nominal (STC) **4160 Wp** En cond. funciona. 3703 Wp (50°C)  
Caract. funcionamiento del generador (50°C) V mpp 248 V I mpp 15 A  
Superficie total Superficie módulos **30.7 m²** Superf. célula 28.0 m²

**Inversor** Modelo **CPS SCE4KTL-O/US-240**

Características Fabricante ChintPower  
Tensión Funciona. 105-500 V Pnom unitaria 4.00 kW AC

**Factores de pérdida Generador FV**

Factor de pérdidas térmicas Uc (const) 20.0 W/m²K Uv (viento) 0.0 W/m²K / m/s  
=> Temp. Opera. Nom. Cél. (G=800 W/m², Tamb=20° C, Viento=1m/s) TONC 56 °C  
Pérdida Óhmica en el Cableado Res. global generador 281 mOhm Fracción de Pérdidas 1.5 % en STC  
Pérdida Calidad Módulo Fracción de Pérdidas -0.5 %  
Pérdidas Mismatch Módulos Fracción de Pérdidas 1.0 % en MPP  
Efecto de incidencia, parametrización ASHRAE IAM = 1 - bo (1/cos i - 1) Parám. bo 0.05  
Perfil definido usuario

**Necesidades de los usuarios :** Carga ilimitada (red)

## PLANTA SOLAR DE AUTOCONSUMO 4.2 KWP USUARIO 1

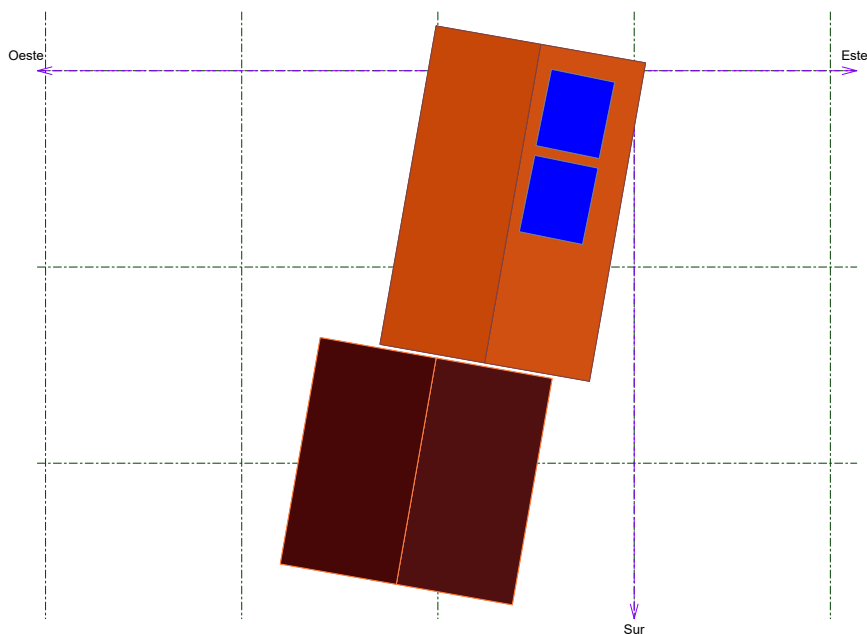
### Sistema Conectado a la Red: Definición del sombreado cercano

**Proyecto :** Proyecto Conectado a la Red at San Pedro Sula Cortes - U1

**Variante de simulación :** Nueva variante de simulación

<b>Parámetros principales del sistema</b>	Tipo de sistema	<b>Conectado a la red</b>		
<b>Sombras cercanas</b>	Según cadenas			
Orientación Campos FV	inclinación	30°	acimut	-79°
Módulos FV	Modelo	CS6X - 260P	Pnom	260 Wp
Generador FV	N° de módulos	16	Pnom total	<b>4160 Wp</b>
Inversor	Modelo	CPS SCE4KTL-O/US-240	Pnom	4000 W ac
Necesidades de los usuarios	Carga ilimitada (red)			

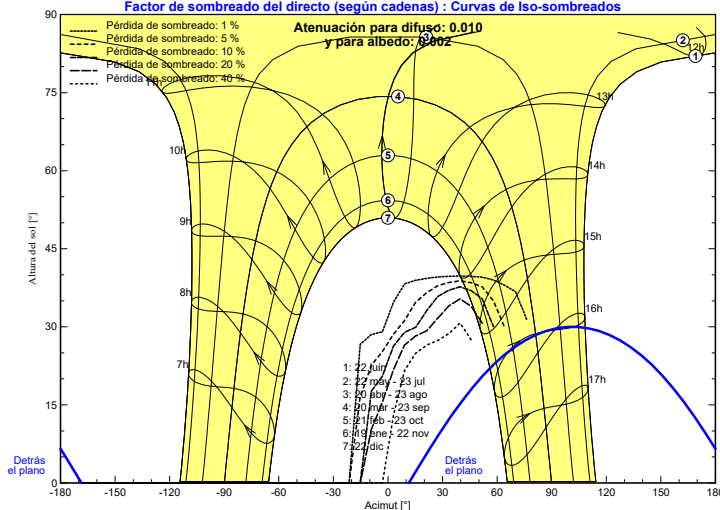
### Perspectiva del campo FV y situación del sombreado cercano



### Diagrama de Iso-sombrados

Proyecto Conectado a la Red at San Pedro Sula Cortes - U1: CASA U1

Factor de sombreado del directo (según cadenas) : Curvas de Iso-sombrados





## PLANTA SOLAR DE AUTOCONSUMO 4.2 KWP USUARIO 1

### Sistema Conectado a la Red: Resultados principales

**Proyecto :** Proyecto Conectado a la Red at San Pedro Sula Cortes - U1

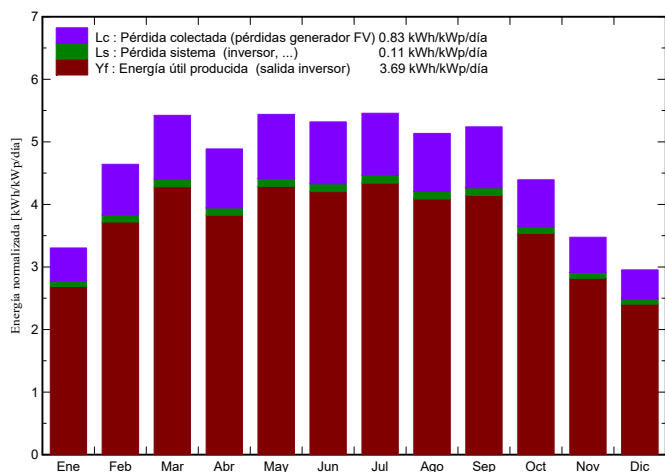
**Variante de simulación :** Nueva variante de simulación

<b>Parámetros principales del sistema</b>	Tipo de sistema	<b>Conectado a la red</b>		
<b>Sombras cercanas</b>	Según cadenas			
Orientación Campos FV	inclinación	30°	acimut	-79°
Módulos FV	Modelo	CS6X - 260P	Pnom	260 Wp
Generador FV	N° de módulos	16	Pnom total	<b>4160 Wp</b>
Inversor	Modelo	CPS SCE4KTL-O/US-240	Pnom	4000 W ac
Necesidades de los usuarios	Carga ilimitada (red)			

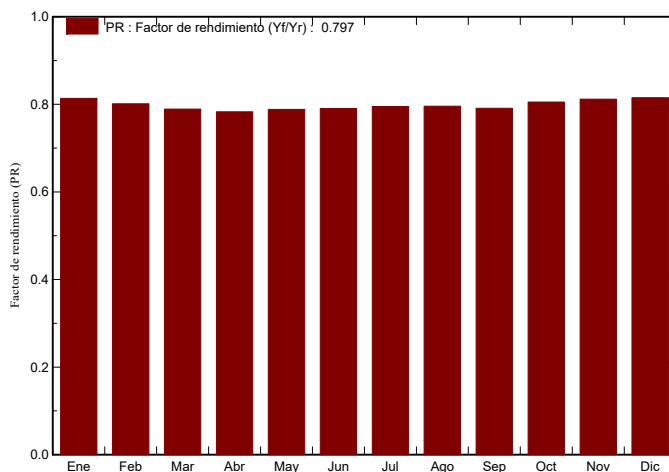
#### Resultados principales de la simulación

Producción del Sistema **Energía producida 5610 kWh/año** Producción específica 1348 kWh/kWp/año  
 Factor de rendimiento (PR) **79.7 %**

**Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 4160 Wp**



**Factor de rendimiento (PR)**



#### Nueva variante de simulación Balances y resultados principales

	GlobHor	T Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	EffArrR	EffSysR
	kWh/m²	°C	kWh/m²	kWh/m²	kWh	kWh	%	%
<b>Enero</b>	106.7	21.47	102.4	97.9	357.9	346.6	11.38	11.02
<b>Febrero</b>	131.7	22.97	130.0	125.3	446.1	433.1	11.18	10.86
<b>Marzo</b>	165.9	24.75	168.1	162.9	568.1	552.0	11.01	10.70
<b>Abril</b>	156.2	26.47	146.6	141.6	492.1	477.7	10.93	10.61
<b>Mayo</b>	182.2	26.39	168.6	162.9	569.3	553.1	11.00	10.68
<b>Junio</b>	174.6	25.73	159.6	154.2	540.4	524.8	11.03	10.71
<b>Julio</b>	182.2	25.13	169.2	163.8	576.0	559.7	11.09	10.77
<b>Agosto</b>	171.1	25.14	159.2	153.9	542.5	527.0	11.10	10.78
<b>Septiembre</b>	155.4	25.23	157.2	152.1	532.3	517.2	11.03	10.72
<b>Octubre</b>	141.3	23.92	136.2	131.3	469.9	456.1	11.24	10.91
<b>Noviembre</b>	104.4	22.51	104.3	100.4	363.5	352.1	11.35	11.00
<b>Diciembre</b>	93.7	21.59	91.5	87.6	320.9	310.3	11.42	11.04
<b>Año</b>	1765.4	24.28	1692.9	1634.0	5779.1	5609.7	11.12	10.79

Legendas:	GlobHor	Irradiación global horizontal
	T Amb	Temperatura Ambiente
	GlobInc	Global incidente plano receptor
	GlobEff	Global efectivo, corr. para IAM y sombreados
	EArray	Energía efectiva en la salida del generador
	E_Grid	Energía reinyectada en la red
	EffArrR	Eficiencia Esal campo/superficie bruta
	EffSysR	Eficiencia Esal sistema/superficie bruta

**PLANTA SOLAR DE AUTOCONSUMO 4.2 KWP**  
USUARIO 1

**Sistema Conectado a la Red: Diagrama de pérdidas**

**Proyecto :** Proyecto Conectado a la Red at San Pedro Sula Cortes - U1

**Variante de simulación :** Nueva variante de simulación

<b>Parámetros principales del sistema</b>	Tipo de sistema	<b>Conectado a la red</b>		
<b>Sombras cercanas</b>	Según cadenas			
Orientación Campos FV	inclinación	30°	acimut	-79°
Módulos FV	Modelo	CS6X - 260P	Pnom	260 Wp
Generador FV	N° de módulos	16	Pnom total	<b>4160 Wp</b>
Inversor	Modelo	CPS SCE4KTL-O/US-240	Pnom	4000 W ac
Necesidades de los usuarios	Carga ilimitada (red)			

**Diagrama de pérdida durante todo el año**

