



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

DISEÑO DE UN GENERADOR SOLAR FOTOVOLTAICO EN HACIENDA BELLA DONA

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

INGENIERO EN ENERGÍA

PRESENTADO POR:

21611367 JUAN ELÍAS CRUZ PAREDES

ASESOR: ING. VIELKA SOFÍA BARAHONA

CAMPUS SAN PEDRO SULA;

MAYO, 2019

AUTORIZACIÓN

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

Señores

CENTRO DE RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACION (CRAI)

San Pedro Sula

Estimados Señores:

La presentación del documento de tesis forma parte de los requerimientos y procesos establecidos de graduación para alumnos de pregrado de UNITEC.

Yo Juan Elías Cruz Paredes, de San Pedro Sula autor del trabajo de grado titulado: Informe de Práctica Profesional, presentado y aprobado en el año 2018, como requisito para optar al título de Profesional de [Ingeniero en energía], autorizo a:

Las Bibliotecas de los Centros de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI) de la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), para que, con fines académicos, pueda libremente registrar, copiar y usar la información contenida en él, con fines educativos, investigativos o sociales de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en las salas de estudio de la biblioteca y la página Web de la universidad.

Permita la consulta y 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 para cualquier formato conocido o por conocer.

De conformidad con lo establecido en el artículo 19 de la Ley de Derechos de Autor y de los Derechos Conexos; los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

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 los principales autores.

En fe de lo cual, se suscribe la presente acta en la ciudad de San Pedro Sula a los 03 días del mes de mayo de dos mil diecinueve.

03 de Mayo del 2019

Juan Elías Cruz Paredes

21611367

RESUMEN

Con los incrementos en los precios de la energía eléctrica y las amenazas del cambio climático cada vez más notorias, son más las personas que se suman a la búsqueda de alternativas de generación de energía amigables con el ambiente, siendo la energía solar fotovoltaica una de las alternativas más viables para todo tipo de mercado.

En el presente informe se detalla el estudio de viabilidad y diseño del proyecto solar fotovoltaico conectado a red de la granja Bella Dona, el cual tendrá una capacidad instalada de 6600 Wp, proyecto sobre suelo, se estima tendrá una generación el primer año de 9,706 kWh. representando un ahorro de energía del 17% del total de la hacienda.

Con un precio de instalación de 1.6 [\$/W] el proyecto tiene un periodo de recuperación estimado de 5.1 años, recuperación atractiva para cualquier proyecto fotovoltaico de pequeña magnitud.

El proyecto obtuvo un valor presente neto de 18,927 [\$], con una tasa interna de rendimiento de 22%, siendo este valor superior al mínimo a alcanzar para establecer que el proyecto es factible.

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia a Dios por siempre guiarme y darme las fuerzas para salir adelante.

A mi madre, Delia Marlen Laínez, quien siempre ha puesto su mayor esfuerzo por sacarnos adelante a mi hermano y a mí, y educarnos de la mejor manera posible, dándonos su gran ejemplo y amor sin límites.

A mi padre, Juan Cruz y a mi hermano Daniel Cruz, por estar ahí en todo momento.

A Elissa Paz, por brindarme su apoyo y cariño durante todo este proceso.

A Héctor Villatoro, por ser un gran profesor y haberme encaminado en los principios de la energía solar fotovoltaica.

A Franklin Martínez, por ser un excelente profesor y amigo y haberme dado la oportunidad de formar parte de la empresa en que hoy laboro.

A Francisco Moncada, Claudio Ávila y Claudia Paz, amigos y compañeros de trabajo, que hacen que todos los días laborales sean más amenos.

A los catedráticos que me ayudaron en el desarrollo y mejora de este informe en especial a la ing. Alicia Reyes.

DEDICATORIA

Se la dedico a mi abuelo, Guillermo Paredes Licon, quien fue como un padre para mí y a pesar de no poder acompañarme en esta parte del camino le estaré eternamente agradecido por sus grandes enseñanzas.

A mi amada madre, quien siempre me ha apoyado y se ha esforzado al máximo por mi hermano y yo en todos los momentos de nuestras vidas.

Ustedes son mis grandes mentores y ejemplos para seguir, los que me han motivado a salir adelante sin importar las adversidades.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO	1
1.1. Introducción	1
1.2. Antecedentes.....	2
1.3. Definición del problema.....	3
1.3.1. Enunciado del problema.....	3
1.3.2. Formulación del problema.....	3
1.3.3. Preguntas de investigación	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo General	4
1.4.2. Objetivos específicos	4
1.5. Justificación	5
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Generalidades de la empresa	6
2.2. Descripción del departamento	6
2.3. Teorías de sustento.....	6
2.3.1. Situación actual.....	6
2.3.2. Irradiación solar de Honduras versus el mundo	8
2.3.3. Principios básicos de la energía solar fotovoltaica	9
2.3.4. Generalidades de los sistemas solares fotovoltaicos.....	10
2.3.4.1. Sistemas fotovoltaicos autónomos	10
2.3.4.2. Sistemas Solares fotovoltaicos conectados a red	11
2.3.5. Tasa interna de rendimiento	12
2.4. Conceptualización.....	13
2.5. Marco Legal	14
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	16
3.1. Población y muestra	16
3.2. Unidad de análisis.....	16
3.3. Unidad de respuesta	16
3.4. Técnicas e instrumentos aplicados	17
3.4.1. Técnicas aplicadas.....	17
3.4.2. Instrumentos aplicados	17
3.4.3. Softwares.....	18
3.5. Procedimientos o cronología de trabajo.....	19
3.6. Fuentes de información	19

3.6.1. Fuentes de información primaria	19
3.6.2. Fuentes de información secundaria.....	20
3.7. Limitantes del proyecto	20
CÁPITULO IV. ANÁLISIS Y RESULTADOS	21
4.1. Descripción General del proyecto	21
4.2. Dimensionamiento Del Sistema	23
4.3. Elaboración de Simulación	26
4.3.1. Depuración de Perfil de Carga	26
4.3.2. Selección de Estación meteorológica.....	27
4.3.3. Ingreso de Módulo e inversor.....	28
4.3.4. Diseño del proyecto	30
4.3.5. Pérdidas.....	31
4.3.6. Vida útil.....	32
4.3.7. Costo del sistema	33
4.3.8. Parámetros Financieros.....	34
4.3.9. Tarifas de la electricidad.....	35
4.3.10. Carga Eléctrica.....	36
4.4. Resultados Técnicos	38
4.5. Resultados Financieros.....	40
4.6 Resultados Ambientales.....	43
CÁPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	45
5.1. Conclusiones.....	45
5.2. Recomendaciones.....	45
Bibliografías	46
Anexos	48
ANEXO I. Reporte de Simulación de System Advisor Model (SAM)	48
Anexo II. Ficha técnica de módulo fotovoltaico	51
Anexo III. Ficha técnica de inversor	53

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Capacidad instalada en Plantas. (MW).....	7
Ilustración 2. Mapa de irradiación mundial.....	8
Ilustración 3. Mapa de irradiación de Honduras.....	9
Ilustración 4. Esquema básico de una instalación fotovoltaica autónoma.....	11
Ilustración 5. Esquema básico de un sistema solar fotovoltaico conectado a red.....	11
Ilustración 6. Ubicación geográfica de Granja Bella Dona.....	21
Ilustración 7. Implantación de proyecto Bella Dona.....	22
Ilustración 8. Renderizado 3D de proyecto Bella dona.....	23
Ilustración 9. Hoja de Cálculo para Arreglos Fotovoltaicos.....	25
Ilustración 10. Datos de las fichas técnica ingresados.....	25
Ilustración 11. Resultados obtenidos a partir de los parámetros de entrada.....	26
Ilustración 12. Perfil de carga replicado a todo el año.....	27
Ilustración 13. Selección de estación meteorológica.....	28
Ilustración 14. Selección del módulo fotovoltaico en SAM.....	29
Ilustración 15. Ingreso de parámetros para inversor inexistente en base de datos.....	30
Ilustración 16. Ingreso de parámetros para dimensionamiento del sistema.....	31
Ilustración 17. Sección de pérdidas del software SAM.....	32
Ilustración 18. Configuración de vida útil del proyecto.....	33
Ilustración 19. Configuración de sección de costos del sistema.....	34
Ilustración 20. Configuración de parámetros financieros.....	35
Ilustración 21. Configuración de parámetros de tarifas eléctricas de hacienda Villa Dona.....	36
Ilustración 22. Sección de configuración de datos de carga eléctrica.....	37
Ilustración 23. Consumo de la radio Vs Normalización en base a facturas.....	38
Ilustración 24. Consumo Vs Generación promedio mensual. (kW Vs hora).....	39
Ilustración 25. Consumo Vs Generación promedio anual. (kW Vs hora).....	39
Ilustración 26. Consumo Vs Generación del sistema.....	40
Ilustración 27. Matriz energética.....	40
Ilustración 28. Flujo de caja acumulado anual.....	41
Ilustración 29. Factura Eléctrica Mensual.....	42
Ilustración 30. Flujo de Caja.....	42
Ilustración 31. Hoja 1 de simulación.....	48
Ilustración 32. Hoja 2 de simulación.....	49
Ilustración 33. Hoja 3 de simulación.....	50
Ilustración 34. Hoja 1 de ficha técnica de módulo fotovoltaico.....	51
Ilustración 35. Hoja 2 de ficha técnica de módulo fotovoltaico.....	52
Ilustración 36. Hoja 1 de ficha técnica de inversor.....	53
Ilustración 37. Hoja 2 de ficha técnica de inversor.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cronograma de actividades	20
Tabla 2. Resumen de resultados técnicos.....	39
Tabla 3. Resumen de resultados financieros	42
Tabla 4. Resumen de beneficios ambientales durante vida útil del proyecto	44
Tabla 5. Cálculo de emisiones año a año.....	45

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2.....	25
Ecuación 3.....	25
Ecuación 4.....	25

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO

1.1. INTRODUCCIÓN

Dentro del actual documento se resume el proceso de estudio y diseño para la realización de un proyecto solar fotovoltaico conectado a red, sobre suelo. En la granja Bella dona, propiedad de Don Roberto Micheletti, ubicada en la ciudad de El Progreso, Honduras.

La finalidad del proyecto es reducir el consumo de energía eléctrica del cliente. Los mayores consumos para la empresa son la estación de radio conocida como, "Radio Perla" y las luces que posee la propiedad, obligando al dueño a tener que apagar sus equipos durante varias horas del día, buscando con esto economizar en los gastos de energía.

Por medio del Software especializado en el análisis económico de sistemas de generación de energías renovables, System Advisor Model (SAM), se determinará la viabilidad técnica y económica del proyecto.

1.2. ANTECEDENTES

El cambio climático es un mal presente en el mundo que se va haciendo cada vez más y más notorio, es por ello por lo que debemos buscar opciones más amigables para el ambiente que mitiguen las emisiones de CO₂. Una buena forma de lograr esto es disminuir el uso de energía eléctrica producida por combustibles fósiles y buscar alternativas de generación de electricidad, como la energía solar.

Otro factor importante y muy presente en Honduras es el aumento de los costos en las tarifas de energía eléctrica, los cuales han sido bastante bruscos los últimos años. Siendo cada vez más notorios estos problemas, son más las personas que se suman a la búsqueda de las alternativas que les ayuden a reducir su factura de energía eléctrica como también a ser más amigables con el ambiente.

Con el avance de la tecnología, la energía solar fotovoltaica va abaratando sus costos de producción a medida pasa el tiempo, volviéndose así una opción más viable para solventar estos problemas.

Es así que surge este como el primer diseño de proyecto a pequeña escala por parte de la empresa. El cual tiene una capacidad de 6.6 kWp, dicho proyecto se llevará a cabo en la hacienda Bella Dona, propiedad del expresidente Don Roberto Micheletti.

1.3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Según Hernández Sampieri (2014), "plantear el problema no es sino afinar y estructurar más formalmente la idea de investigación". Buscando cumplir lo que nos menciona el autor se plantean las partes que nos ayudaran a plantear el problema.

1.3.1. ENUNCIADO DEL PROBLEMA

En los últimos meses se ha visto un aumento considerable en los precios de la energía eléctrica, el cual se ve reflejado en las facturas de consumo de energía eléctrica de la hacienda, obligando al dueño a acoplarse a horarios de poco uso en sus instalaciones buscando así reducir estos gastos, dejando un margen de uso de 5 horas al día obligándolo a desconectar de la red eléctrica la radioemisora durante la mayor parte del día. Esta problemática nos lleva a realizar el estudio de viabilidad para el proyecto fotovoltaico Bella Dona con la finalidad de lograr un ahorro en los consumos energéticos del cliente y permitirle usar su radioemisora durante más horas en el día.

1.3.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La realización de un proyecto fotovoltaico en sus inicios consta de la elaboración de un estudio de viabilidad, en el cual se detallan datos técnicos y económicos del proyecto, facilitando así la toma de decisiones del cliente al momento de saber si llevar a cabo la inversión para un proyecto de estos o no. Esto nos lleva a la siguiente pregunta.

¿Cuáles son los resultados técnicos y financieros de realizar un proyecto solar fotovoltaico de este tipo en la actualidad?

1.3.3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Hernández Sampieri (2014) nos dice, que las preguntas de investigación son las que nos dirigen hacia las respuestas que se buscan contestar con la investigación. Evitando utilizar términos ambiguos o abstractos. De todas las interrogantes que pudieran formarse a lo largo del proyecto, las de mayor importancia son las presentadas a continuación.

- ¿Cuál es el factor de rendimiento del proyecto?
- ¿Cuántas toneladas de CO₂ se dejan de emitir con la instalación del proyecto?
- ¿Cuánto es la TIR del proyecto?

1.4. OBJETIVOS

(Hernández Sampieri, 2014) Nos dice que, "Los objetivos de la investigación, señalan a lo que se aspira en la investigación y deben expresarse con claridad, pues son las guías del estudio". Con base a esta analogía se obtuvieron los objetivos mostrados a continuación.

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar el análisis técnico y financiero de un proyecto solar fotovoltaico conectado a red a pequeña escala para así determinar la viabilidad de este, mediante el software System Advisor System (SAM), Objetivos específicos

- Determinar la demanda eléctrica de la propiedad Bella Dona para desarrollar el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, por medio de un analizador de red.
- Dimensionar el proyecto solar fotovoltaico Bella Dona buscando el mínimo porcentaje de energía inyectada a red.
- Determinar la viabilidad económica del proyecto solar para facilitar la toma de decisiones del cliente al momento de realizar la inversión.

1.5. JUSTIFICACIÓN

Son distintas las razones que motivan a las personas a realizar una inversión en energía solar fotovoltaica, siendo de las más influyentes el ahorro económico que estos proyectos pueden generar, así como también la proyección del cliente como socialmente responsable con el ambiente.

En la actualidad con los avances de la tecnología estos proyectos van abaratando sus costos, siendo estos cada vez más rentables económicamente hablando.

Años atrás no era factible económicamente realizar una inversión de la magnitud que requiere un sistema fotovoltaico, pero actualmente con los avances y el alto costo de la tarifa de energía eléctrica se buscó realizar el proyecto solar fotovoltaico conectado a red, sobre suelo de Bella Dona. El alto costo de la energía fue la principal razón de realizar esta inversión, esto debido a que dentro de la propiedad se encuentra una estación radioemisora la cual produce el mayor consumo para esta, la granja y la casa del propietario Don Roberto Micheletti.

Siendo la radio y la granja empresas sin fines de lucro, no le resultaba al propietario factible pagar facturas por alto consumo de energía eléctrica, es por ello que buscó a la empresa Electric solar para que le ofreciera una solución a su problema por medio de la energía solar fotovoltaica.

Con esta solución el cliente recibirá una reducción parcial en su consumo de energía eléctrica, evitará la emisión de gases de efecto invernadero al evitar consumir energía eléctrica de origen térmico. Así como también aumentar las horas de uso de la radioemisora sin afectar su consumo de energía eléctrica.

Con el sistema fotovoltaico instalado el cliente podrá omitir la medida de ahorro que optó, medida que consta en la desconexión total de la radioemisora durante varias horas del día, este horario consistía en un horario de encendido de lunes a viernes de 5:55 am – 9:05 am, 11:25 am -12:35 pm y 5:45 pm – 7:35 pm. Una vez instalada la radioemisora el cliente podrá aprovechar las bondades del sistema solar, pudiendo transmitir radio Perla durante el día aprovechando las horas sol en que el sistema fotovoltaico se encuentra generando y esta misma aproveche la energía generada para autoconsumo de la radio y la granja.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA

La empresa Electric Solar nace con el propósito de promover y desarrollar la energía solar fotovoltaica a nivel comercial e industrial. La empresa Electric Solar logra en su primer año una potencia instalada de 7.6 MWp sobre cubierta y actualmente tiene en desarrollo varios proyectos que juntos lograrían una potencia de 17 MWp adicionales.

La compañía Electric Solar se caracteriza por utilizar componentes de última tecnología y calidad, esto siguiendo con la ideología de maximizar el retorno del inversionista. Nuestro éxito se centra en el proceso de diseño en donde se piensa en minimizar costos de operación y mantenimiento durante la vida útil del proyecto. La mentalidad surge debido a que la empresa se dedica tanto al desarrollo de proyectos bajo la modalidad de EPC como también es dueña de proyectos de generación, y debido a esto nos enfocamos en garantizar la inversión a largo plazo.

2.2. DESCRIPCIÓN DEL DEPARTAMENTO

Nuestro equipo está formado por profesionales con una larga trayectoria en el sector de la generación de energía. La empresa cuenta con Ingenieros Seniors que han participado en más de 1 GW de potencia instalada a nivel mundial y han formado un equipo de Ingenieros locales con las mejores prácticas y normas. Los principios inculcados en nuestro personal los direccionan a brindar a nuestros clientes un servicio de la más alta calidad que garantice una relación a largo plazo.

2.3. TEORÍAS DE SUSTENTO

Hernández Sampieri (2014) afirma que, "Desarrollo de la perspectiva teórica es el paso de investigación que consiste en sustentar teóricamente el estudio, una vez que ya se ha planteado el problema de investigación".

2.3.1. SITUACIÓN ACTUAL

Con base a la problemática actual en el sector energía las fuentes de generación de energía renovable se han vuelto un tema de vital importancia, ya que esta presenta múltiples ventajas

con respecto a la generación en la energía fósil, siendo unas de las ventajas más importantes el hecho que las renovables sean inagotables y amigables con el ambiente. Frente al hecho que nos acercamos al cenit del petróleo, el cual representa el mayor aporte a la red eléctrica en Honduras, según el boletín informativo de la ENEE, al año 2018 la energía térmica representa un 33,3% de las plantas de generación de energía del territorio hondureño, como podemos ver en la ilustración 1.

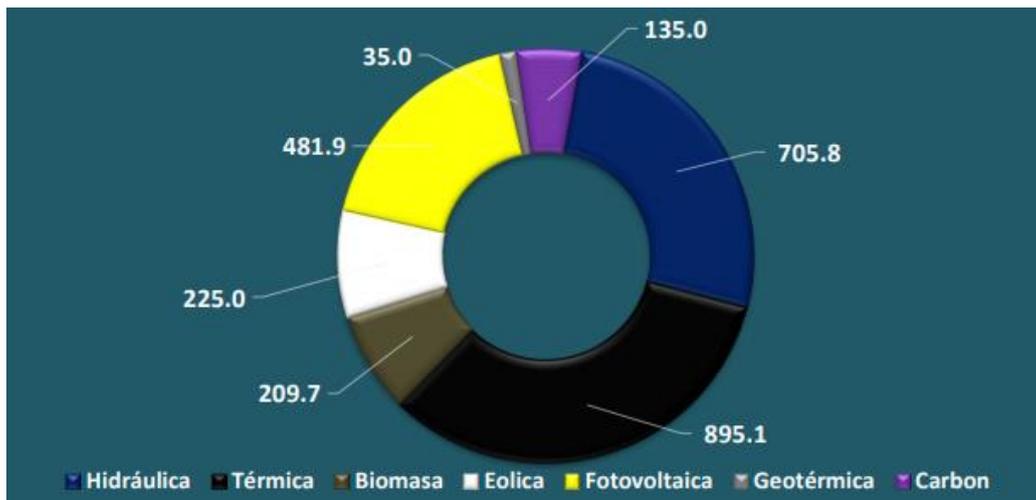


Ilustración 1. Capacidad instalada en Plantas. (MW)

Fuente: (Boletín Estadístico ENEE, 2019)

Según (Carta, 2012), el petróleo, a este ritmo de producción y consumo las reservas mundiales se agotarían en un lapso de 40 años. Se estiman los siguientes agotamientos parciales de las reservas: 11,7 años de Estados Unidos, 9,6 de México, 91,3 de Venezuela, 21,8 de Rusia, 16,8 de Argelia, o 11,3 de China.

Otro hecho importante es la contaminación producida por los combustibles fósiles, siendo el cambio climático uno de los temas de vital importancia a la hora de hablar de energías renovables.

Spiegel, McArthur, & Norton (2016) afirma, que al pasar los años la demanda en aumento y los precios altos del petróleo harán cada vez más atractivas las fuentes de energía alternativa, hechos que estamos viendo en la actualidad. Con esto cada vez son más y más las personas que se ven interesadas en buscar formas de ahorrar energía, y las energías alternativas son una buena opción para ello, en especial la energía solar fotovoltaica, de la cual se hablará a más adelante.

2.3.2. IRRADIACIÓN SOLAR DE HONDURAS VERSUS EL MUNDO

Debido a la cercanía de Honduras al Ecuador esta goza de beneficios en cuanto a recurso solar. La irradiación solar en nuestro país. De acuerdo a los datos obtenidos por la NASA, varían entre 5.5 a 6 kWh/m²/día. Esto quiere decir que por cada metro cuadrado de área en nuestro país un sistema solar puede recibir hasta 6 kWh en tan solo un día.

A nivel mundial Alemania es uno de los países pionero en el uso de energía solar fotovoltaico, siendo los que mejor explotan su recurso energético solar, con una irradiación inferior a la de Honduras, rondando esta entre los 2.5 a 3.5 kWh/m²/día, siendo casi la mitad de la capacidad que posee Honduras. Con estos datos podemos entender como Honduras posee una ubicación prodigiosa para poder explotar este recurso.

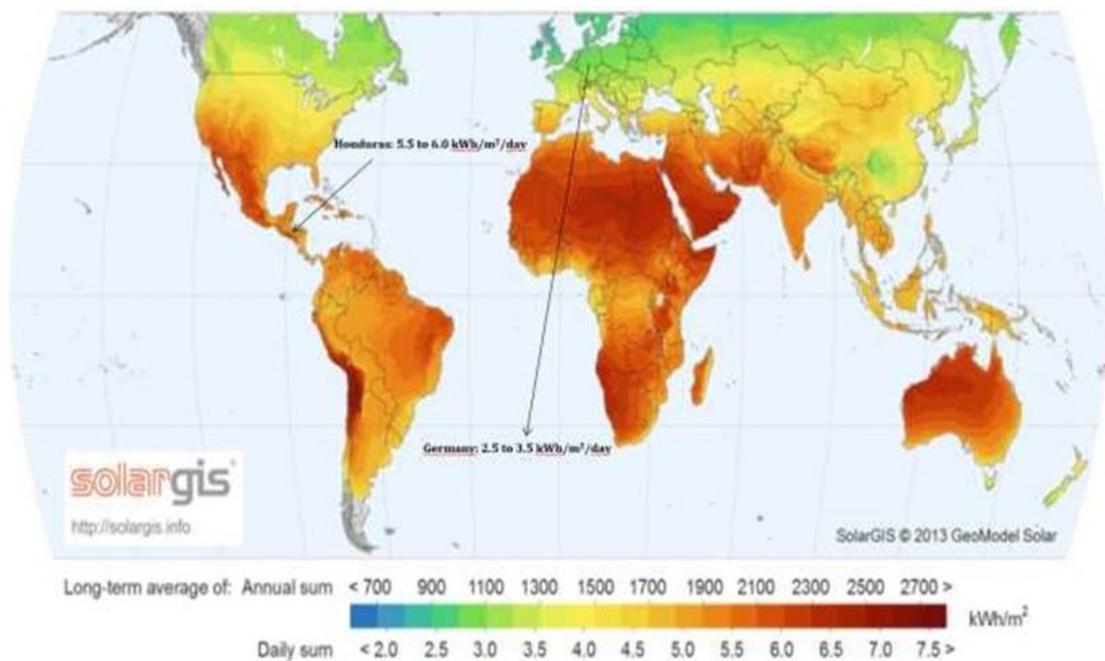


Ilustración 2. Mapa de irradiación mundial

Fuente: (SOLARGIS, 2019)

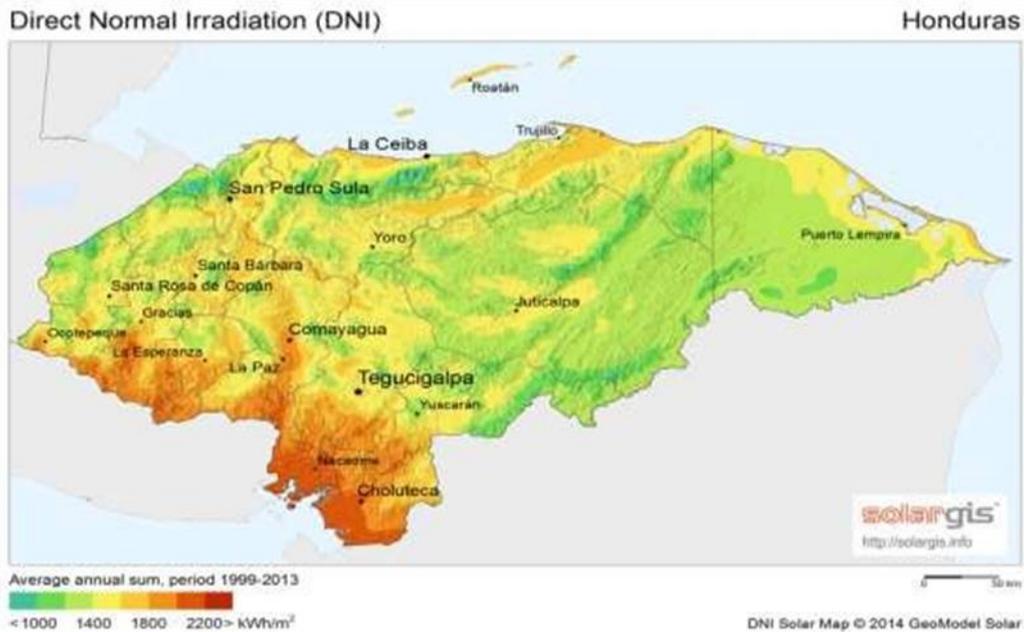


Ilustración 3. Mapa de irradiación de Honduras

Fuente: (SOLARGIS, 2019)

2.3.3. PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar fotovoltaica es la que aprovecha la radiación del sol para transformarla en energía eléctrica. Esto por medio de los paneles solares, los cuales están compuestos de materiales semiconductores, que cuando la luz solar incide sobre ellos se produce el efecto fotovoltaico y por medio de este se produce la transformación de energía.

El efecto fotovoltaico según (Carta, 2012) se da cuando una luz incide sobre un material semiconductor y esto hace que los fotones comuniquen energía a los electrones. Haciendo que estos electrones atraviesen la barrera de potencial, la cuál es la que la energía procedente de la luz que se debe superar para poder así permitir que se produzca este efecto. Una vez cruzada la barrera, por medio de un circuito exterior salen los electrones fuera del material semiconductor, produciendo así una corriente eléctrica.

Son varios los factores que afectan la producción de energía en un panel fotovoltaico, siendo los más considerables, la orientación, inclinación y óptima ubicación de este, evitando sombras posibles, pero uno de los factores más considerables es el de la temperatura, ya que esta como en cualquier aparato eléctrico al calentarse genera pérdidas. (Carta, 2012) nos dice que hay una relación de pérdida inversamente proporcional, entre el voltaje y la temperatura, disminuyendo el voltaje cuando la temperatura aumenta, y esto afectando en sí la eficiencia del panel, en una razón de 0.4% a 0.5% perdido por grado aumentado.

A la hora de realizar el diseño de un sistema solar fotovoltaico hay que tener en consideración todas las pérdidas posibles, para así lograr sacarle el mayor provecho al sistema en sí. Parte de realizar el diseño consta de conocer los tipos de sistemas fotovoltaicos que hay y las diferentes formas que hay de dimensionar estos, para así proponer el sistema que mejor se acople a las necesidades del cliente.

2.3.4. GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS

Los sistemas solares fotovoltaicos pueden clasificarse en 2 grupos generales, estos pueden ser:

- Sistemas fotovoltaicos autónomos
- Sistemas fotovoltaicos conectados a red

Cada uno de los anteriores satisface una necesidad diferente y cada uno tiene sus diferencias al momento de la instalación y equipo que utilizan.

2.3.4.1. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÓNOMOS

Los sistemas fotovoltaicos autónomos son especiales para las zonas rurales o zonas aisladas a las cuales no llega suministro eléctrico, esto debido a que el sistema posee la capacidad de suplir una carga predeterminada a cualquier hora del día, esto debido a que el sistema cuenta con un sistema de baterías para poder almacenar la energía y utilizarla cuando haya demanda de esta.

Los componentes de un sistema solar fotovoltaico autónomo son:

- Panel solar
- Batería
- Regulador de Carga
- Inversor DC/AC

Cada uno de estos componentes cumple una función importante en la instalación, dirigirse a la conceptualización para visualizar la función de cada uno. El esquema básico de conexión de estos sistemas podrá visualizarse en la ilustración 3.

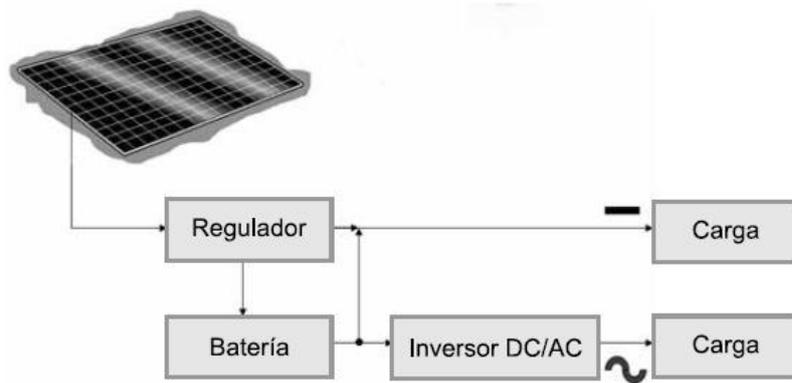


Ilustración 4. Esquema básico de una instalación fotovoltaica autónoma.

Fuente: (Carta, 2012)

2.3.4.2. SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A RED

Carta, (2012) nos dice que un sistema solar fotovoltaico conectado a red consiste básicamente en un generador fotovoltaico acoplado a un inversor DC/AC, este operando paralelamente con la red eléctrica convencional. En la ilustración 4 se podrá visualizar el esquema básico para estos tipos de sistemas. A diferencia de los sistemas autónomos, estos no constan con un sistema de almacenamiento de energía, debido a que esta se busca que sea consumida en el momento que es generada y el exceso de energía sea entregada a la red eléctrica de distribución. Años atrás los sistemas conectados a red eran exclusivamente para proyectos de gran tamaño, pero con el avance de la tecnología ahora estos proyectos son para sistemas ya sean grandes o pequeños.

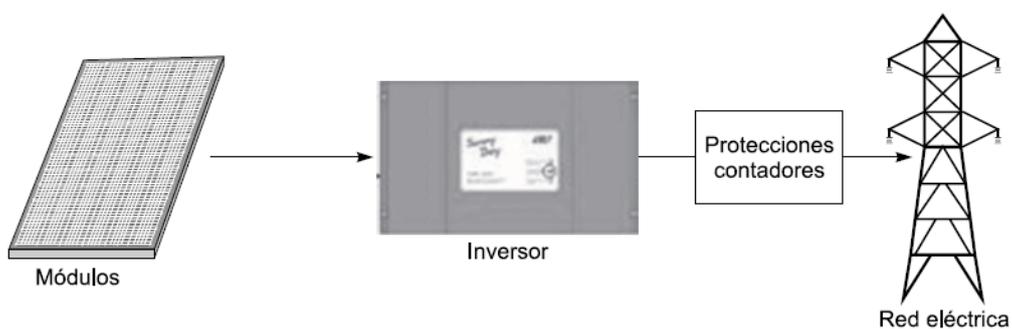


Ilustración 5. Esquema básico de un sistema solar fotovoltaico conectado a red.

Fuente: (Carta, 2012)

Gracias a los avances tecnológicos se puede hablar de un tercer tipo de sistemas fotovoltaicos, conocidos como híbridos, los cuales constan de la mezcla del uso de la energía solar, ya sea

conectada a red o autoconsumo, acoplados a un generador de energía de cualquier otro tipo, usualmente diesel, eólico o hídrico.

Independientemente del tipo de sistema los módulos solares pueden ser instalados sobre cualquier superficie, también dependiendo de las necesidades del cliente y de la situación óptima para el sistema, estos pueden ser instalados, sobre techo, adheridos a las fachadas de edificios y sobre una estructura sobre el suelo. Para enfoque técnico de este informe nos centraremos en los sistemas conectados a red sobre suelo.

2.3.5. TASA INTERNA DE RENDIMIENTO

Gabriel Baca Urbina, (2013) afirma que, "El estudio de la evaluación económica es la parte final de toda la secuencia de análisis de la factibilidad de un proyecto".

Para la evaluación de cualquier proyecto es necesario conocer si este es viable o no, la finalidad de toda inversión es que esta sea rentable y hay distintas formas de conocer la rentabilidad de un proyecto. Una de las más conocidas y utilizada para este estudio es la tasa interna de rendimiento (TIR).

Como parte del análisis de viabilidad aparece un término el cual es de vital importancia conocido como Valor presente neto (VPN). El cual Gabriel Baca Urbina, (2013) nos dice que, "es el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados a la inversión inicial". En otras palabras, el VPN nos da como resultado un valor monetario el cual representa la cantidad de dinero que tendríamos al final del periodo de análisis de una inversión en el presente, o visto de otra forma, traer todas las ganancias del futuro a la actualidad descontando la inversión inicial y considerando la fluctuación del dinero en el tiempo, por medio de la tasa de descuento.

Para el mayor entendimiento, la tasa de descuento representa el inverso de los intereses, según Gabriel Baca Urbina, (2013) la tasa de descuento al igual que los intereses nos ayudan a evaluar el valor del dinero en el tiempo. Así como los intereses nos ayudan a saber cuanto aumenta el dinero al pasarlo del presente al futuro, la tasa de descuento nos ayuda a saber cuanto disminuye el dinero al traerlo del futuro al presente.

En conclusión, si el VPN es mayor o igual a cero, es viable realizar el proyecto o inversión, en caso contrario este fuera menor que 0, este no es factible y debe ser rechazado.

Una vez claros estos conceptos podemos comprender mejor lo que es el TIR. Gabriel Baca Urbina, (2013) nos dice que, "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". Una vez obtenido el VPN, a partir de este valor se recalcula el interés de la fórmula que haría que este VPN fuera cierto. Este valor es expresado en porcentaje y este porcentaje debe superar a la tasa de descuento. Para términos de cálculo con el software system advisor model este debe superar el WACC o costo promedio ponderado de capital, el cuál es calculado por el programa nada más como valor de referencia para saber el valor mínimo que debe cumplir la TIR para ser rentable.

2.4. CONCEPTUALIZACIÓN

En esta sección se pretende explicar los términos que puedan ser desconocidos para el lector, esto con el fin de facilitar la lectura y comprensión del trabajo realizado. Los cuáles serán desglosados a continuación, con fuente recopilada de Tobajas Vázquez, (2018):

- 1) Radiación: Son las ondas electromagnéticas que recibimos del sol.
- 2) Irradiancia: Es la medida que nos dice cuanta radiación nos llega a un área determinada, o la potencia que tenemos en un metro cuadrado.
- 3) Irradiación: Esta es la unidad que nos dice cuanta energía hay en un área específica, nos ayuda a conocer la energía de radiación solar que incide en una zona. Se diferencia de la irradiancia por la unidad de tiempo que convierte la potencia en energía.
- 4) Conectado a red: Para fines del presente informe, se refiere con conectado a red a los sistemas solares que están trabajando con la red eléctrica nacional, se aporta energía a la red si la generada no es consumida.
- 5) Orientación: Esta se refiere a la orientación cardinal que los paneles solares estarán captando mayor radiación. Un buen ejemplo de cómo se usa la orientación en proyectos fotovoltaicos es, "en el hemisferio norte, los paneles solares orientados perfectamente al sur captan mejor la radiación solar".
- 6) Inclinación óptima: Esta es la inclinación que se le debe dar al panel solar, la recomendada como óptima es que sea la misma con la latitud. Por ejemplo, en Honduras que su latitud es 15, lo recomendable es que la inclinación del panel sea de 15°.

Para comprender mejor los componentes básicos de un sistema fotovoltaico se detalla la función de cada uno comenzando con el panel solar que es el responsable de generar la energía eléctrica en corriente directa, siendo esta almacenada en una batería, la cual requiere del regulador de carga para poder mantener en rango la energía almacenada en la batería y así no dañar la misma. La energía generada por el sistema solar es en corriente directa y esta puede ser aprovechada directamente por aparatos diseñados especialmente para este tipo de sistemas, pero generalmente se necesita de corriente alterna debido a que en su mayoría es cómo funcionan los electrodomésticos y dispositivos eléctricos, es por ello que necesitamos de un inversor DC/AC, el cual se encarga de pasar la corriente DC generada por el sistema fotovoltaico a corriente alterna, la cual ocuparemos en su mayor parte para uso diario.

2.5. MARCO LEGAL

En Honduras el marco regulatorio del sector eléctrico en general data desde 1957, año en que se creó la Empresa Nacional de Energía Eléctrica, mejor conocida como ENEE, bajo el decreto No. 48.

Dicha Ley, conocida como la Ley Marco del subsector eléctrico fue evolucionando a lo largo de los años, desde la creación de la ENEE, recibiendo su última reforma en el año 2014. En la cual se liberaliza el mercado eléctrico.

También se cuenta con la ley de incentivos a la generación eléctrica con recursos renovables, bajo el decreto 70-2007. Con la cual se busca incentivar a la inversión en proyectos de recursos energéticos renovables buscando así disminuir la dependencia de los combustibles importados mediante el aprovechamiento de los recursos energéticos que cuenta el país. De esta forma mejorar los recursos naturales del mismo.

Fue con esta ley que se introdujeron reformas en los procesos de otorgamiento de permisos a los proyectos de generación de energía con recursos renovables, incentivos monetarios y exoneraciones de impuestos. Todas estas exoneraciones detalladas en el artículo 2 de la misma ley.

Pero fue hasta el año 2013 que se realizó una reforma de esta misma ley, mediante el decreto No. 138-2013 en la cual comenzó el apogeo de la energía solar fotovoltaica en Honduras, con

el incentivo de los 3 centavos, el cual fue otorgada a las primeras generadoras que comenzaran a funcionar, abarcando sólo a las que quedaran dentro de los primeros 300 MW de capacidad instalada a los dos años de haberse publicado la ley.

Es de esta ley que parte un punto importante para la energía solar fotovoltaica en Honduras, volviéndose así con estos incentivos un método de generación de energía alternativo capaz de competir con los precios de las otras energías.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. POBLACIÓN Y MUESTRA

La población del presente proyecto está dirigida a la hacienda Bella Dona, propiedad de Don Roberto Micheletti Bain. Dentro de esta propiedad se encuentran distintas instalaciones las cuales representan diferentes consumos para el propietario, es por ello que como muestra se enfocó específicamente en el área que mayor consumo representaba para la propiedad. La cual corresponde a la radioemisora, mejor conocida como, "Radio Perla".

3.2. UNIDAD DE ANÁLISIS

Durante el desarrollo del proyecto son muchas las variables que se deben tener en consideración, desde el momento de inicio del proyecto en que el cliente realiza contacto con la empresa, hasta la etapa de entrega final.

El éxito del proyecto radica en realizar un estudio y diseño del proyecto adecuado a cada situación. Comenzando con una visita técnica al lugar que se desea instalar, esto para evaluar la zona, tomar nota de los detalles a considerar para el estudio. En esta misma se busca la ubicación más óptima para realizar la instalación, se instala el analizador de red o se le realiza solicitud al cliente de un perfil de carga en caso el cliente tenga opción a obtenerlo, se hace una revisión de sus instalaciones eléctricas, haciendo un diagnóstico de la calidad de estas mismas para así saber si son propicias para poder llevar a cabo el proyecto, se toman fotografías para realizar planos 2D y 3D para que el cliente tenga una idea de lo que obtendrá al finalizar la instalación, toma de fotografía aérea por drone para facilitar las últimas. En resumen, la primera visita nos sirve para poder evaluar la propuesta que se le presentará al cliente y este tome la decisión de realizar la inversión.

3.3. UNIDAD DE RESPUESTA

Una vez terminada la primera visita por medio del perfil de carga se evalúa cuanto es la potencia optima a instalar, en base a esto se le hace la propuesta al cliente analizando todos los factores económicos por medio de un software especializado en realizar análisis financieros para proyectos renovables, del cual se hablará más adelante.

Dentro del análisis financiero el cliente sabrá los beneficios económicos que le traerá realizar esta inversión, por medio de datos financieros que se deben considerar en todo proyecto que se vaya a realizar. Estos datos son, el periodo de retorno, el cual nos dice en cuanto tiempo se recuperará la inversión del proyecto. El Valor presente neto (VPN) que nos dice cuanto dinero tendríamos en la actualidad si realizamos la inversión y la Tasa interna de Rendimiento (TIR) esta está dada como un porcentaje y nos indica la viabilidad de un proyecto en función del tiempo en que se recupera la inversión. En proyectos fotovoltaicos ronda entre 20% y 30% dependiendo la magnitud y desempeño de este.

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

Son muchas las maneras en que se puede llevar a cabo un proyecto solar fotovoltaico, pero con años de experiencia en el rubro y después de tanto proyecto instalado, dentro de la compañía se han establecido una serie de técnicas y herramientas necesarias para llevar a cabo de la mejor manera posible los proyectos, tanto para la empresa como para el cliente.

3.4.1. TÉCNICAS APLICADAS

Una de las técnicas de mayor importancia durante el comienzo del proyecto, es la entrevista y acompañamiento del cliente o un representante conocedor de la empresa o lugar donde se desea realizar el proyecto, a medida este hace acompañamiento en el recorrido de la empresa, se le realiza una serie de preguntas al cliente y solicitudes de información que pueda ser útil para la elaboración de un dimensionamiento propicio de la instalación. La información que se pretende recopilar con la entrevista es la siguiente:

- 1) Horario de trabajo o frecuencia de usos eléctricos dentro de la instalación.
- 2) Perfil de carga de tener el cliente.
- 3) Facturas de energía eléctrica equivalentes a un año completo.
- 4) Planos del lugar donde se desea realizar la instalación de ser necesario.
- 5) Lugares donde el cliente permitiría realizar la instalación.

3.4.2. INSTRUMENTOS APLICADOS

Son muchas las herramientas que se pueden utilizar para realizar un dimensionamiento para un proyecto fotovoltaico, estas pueden variar dependiendo del proyecto, pero los de mayor importancia y más utilizados en el proceso de elaboración de propuesta de un proyecto son:

- 1) Analizador de red: Instrumento utilizado para la medición de patrones de consumo de un lugar determinado. Este dispositivo va grabando datos periódicamente durante un tiempo continuo determinado, con el fin de realizar una base de datos que nos muestra como fue el comportamiento de potencia a una hora determinado y así ayudarnos a determinar cómo es el comportamiento de consumos eléctricos para la carga que deseemos.
- 2) Cámara Termográfica: Esta es un dispositivo capaz de mostrar en pantalla la temperatura proveniente de los objetos enfocados por la misma. Es de vital importancia ya que nos ayuda a identificar puntos calientes en instalaciones eléctricas los cuales son usualmente puntos de falla, y así mismo reparar estos antes de la instalación de ser necesario. Otro uso importante es durante la realización de las pruebas de agua en el Techo, ya que con esta podemos observar más fácil las filtraciones.
- 3) Multímetro: Dispositivo que nos ayuda con la medición de parámetros eléctricos.
- 4) Drone: Este es un vehículo aéreo no tripulado el cual es controlado por medio de control remoto. Este trae una cámara incorporada, esta nos ayuda con la toma de fotografías que ayudan con la realización de planos y bosquejos 3D.

3.4.3. SOFTWARES

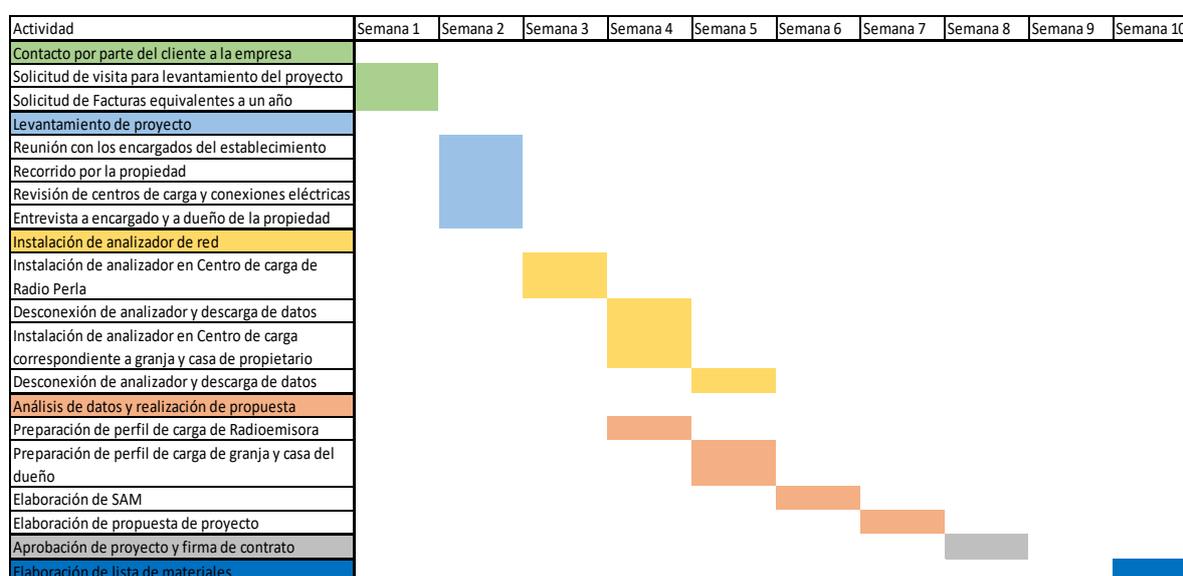
Durante la elaboración de propuestas de proyectos los softwares más utilizados por la empresa son:

- 1) Autocad: "Es un programa de dibujo por computadora CAD 2 y 3 dimensiones, puedes crear dibujos o planos genericos, documentar proyectos de ingenieria , arquitectura, mapas o sistemas de informacion geografica por mencionar algunas industrias y aplicaciones". (Autodesk, 2019)
- 2) SketchUp: "Es un software de diseño 3D de alta calidad que realmente pone el modelado 3D al alcance de todos con un conjunto de herramientas fáciles".(SketchUp, 2019)
- 3) System Advisor Model (SAM): "Es un modelo financiero y de rendimiento diseñado para facilitar la toma de decisiones para las personas involucradas en la industria de las energías renovables". (System Advisor Model (SAM), 2019).

4) PvSyst: “Está diseñado para ser utilizado por arquitectos, ingenieros e investigadores. También es una herramienta educativa muy útil. Incluye un menú de ayuda contextual detallado que explica los procedimientos y modelos que se utilizan, y ofrece un enfoque fácil de usar con una guía para desarrollar un proyecto”. (PvSyst, 2019). Para cuestiones de este informe sólo se utilizó para tomar valores para el ingreso de datos al software.

3.5. PROCEDIMIENTOS O CRONOLOGÍA DE TRABAJO

Tabla 1. Cronograma de actividades



Fuente: Elaboración Propia

3.6. FUENTES DE INFORMACIÓN

(Heller, 2014) afirma que las fuentes de información son aquellas que proporcionaran datos históricos y actuales sobre los cuales se puede hacer proyecciones en un futuro cercano. Sirven para identificar patrones de tendencia o estacionalidad. Las fuentes de información pueden clasificarse en fuentes internas y externas, cada una de las cuales se subdivide a la vez en primarias y secundarias.

3.6.1. FUENTES DE INFORMACIÓN PRIMARIA

Las fuentes primarias para la recopilación de datos en la elaboración de este informe fueron los recabados del levantamiento realizado a la granja en general. Estos obtenidos por la entrevista a los encargados y al dueño, así como también las fotos tomadas al lugar, los perfiles

de carga obtenidos gracias al analizador de red y las facturas de energía eléctrica, las cuales nos ayudan a mostrar un comportamiento histórico de sus consumos.

3.6.2. FUENTES DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

Como fuentes de segunda mano se tuvo los asesoramientos de compañeros de trabajo de la empresa, así como también libros encontrados en la biblioteca de Unitec y en la biblioteca virtual.

3.7. LIMITANTES DEL PROYECTO

Son tres las principales limitantes para este proyecto, una de ellas es el contrato de confidencialidad firmado entre el autor y la empresa, en el cual se prohíbe la revelación de datos y documentos, los cuales hubiesen podido enriquecer el estudio llevado a cabo en este informe. Otro factor limitante fue el tiempo, ya que por falta de este se tuvo que limitar el proyecto a nivel de diseño.

Otra de las principales limitantes al proyecto fue la decisión del cliente a instalar un proyecto limitado a un inversor de la línea fusion home de Huawei, este como proyecto piloto para el cliente.

CÁPITULO IV. ANÁLISIS Y RESULTADOS

En esta sección se describirá los procesos desarrollados a lo largo de todo el proyecto, así como también los resultados financieros y técnicos, los cuales son decisivos para la toma de decisión del cliente al momento de decidir si invertir o no en realizar el proyecto.

4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

La hacienda Bella Dona está ubicada en la ciudad de El Progreso, Yoro. Dirigirse a la ilustración 6 para visualizar ubicación del proyecto.



Ilustración 6. Ubicación geográfica de Granja Bella Dona

Fuente: (Electric Solar, 2019)

La propiedad posee un amplio terreno y techos muy antiguos los cuales requerirían de reforzamiento para realizar la instalación de módulos solares sobre techo, por lo cual el cliente ha decidido realizar la instalación de este sobre suelo. Aprovechando esto Los 20 módulos fotovoltaicos que comprenden el proyecto serán ubicados a condiciones óptimas de funcionamiento, siendo estas condiciones a 15° de inclinación y orientados al sur perfectamente, visualizar ilustración 7 para ver la implantación en 2D del proyecto.



Ilustración 7. Implantación de proyecto Bella Dona

Fuente: (Electric Solar, 2019)

Por decisión del cliente se ha limitado a la instalación de un inversor, el óptimo para el caso de estudio es de 5 kWAC de capacidad. Quedando oportunidad a futuras expansiones de ser requerido por el cliente.

Para ayudar a previsualizar el proyecto una vez instalado se presenta el renderizado de la mesa con los paneles en la ilustración 8.

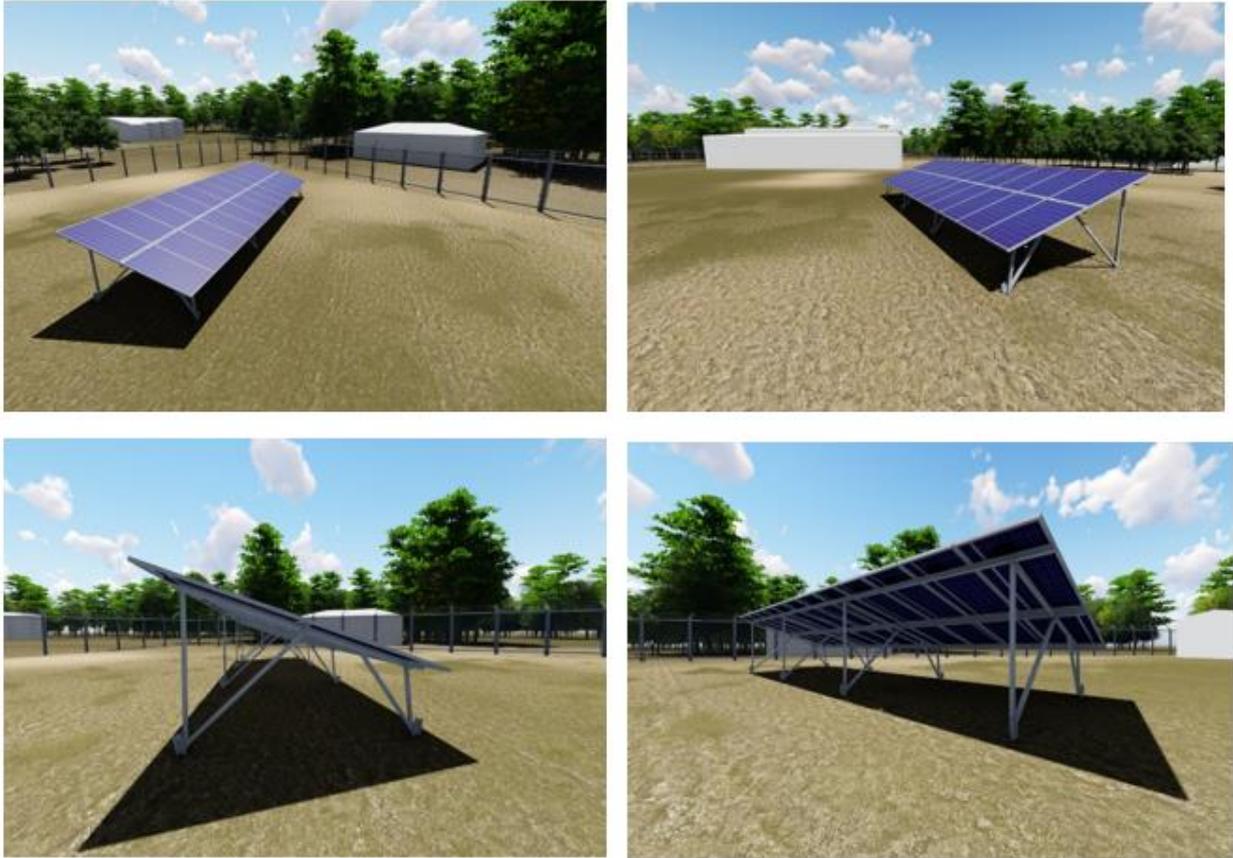


Ilustración 8. Renderizado 3D de proyecto Bella dona

Fuente: (Electric Solar, 2019)

4.2. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA

Para el dimensionamiento de los arreglos fotovoltaicos es necesario la recopilación de datos técnicos del inversor y del módulo fotovoltaico. Estos datos se pueden encontrar en las fichas técnicas de cada uno, dichas fichas técnicas se encontrarán en los anexos. Por medio de algunos cálculos se logrará determinar el número de módulos a conectar al inversor.

Alfsen Jennifer, (2019) nos recomienda las siguientes fórmulas para el cálculo de módulos necesarios para obtener los parámetros de dimensionamiento básicos para realizar cualquier proyecto fotovoltaico.

$$\text{Module } V_{mp_{\min}} = V_{mp} \times [1 + ((T_{\max} + T_{\text{add}} - T_{\text{STC}}) \times (T_{k_{V_{mp}}}/100))]]$$

Ecuación 1.

Fuente: (Alfsen, Jennifer, 2019)

$$\text{Module Voc}_{\max} = \text{Voc} \times [1 + (T_{\min} - T_{\text{STC}}) \times (Tk_{\text{Voc}}/100)]$$

Ecuación 2.

Fuente: (Alfsen, Jennifer, 2019)

De la ecuación 1 obtenemos el Voltaje mínimo requerido de los arreglos fotovoltaicos y de la ecuación 2 obtenemos el Voltaje máximo estos valores son los requeridos por los arreglos fotovoltaicos. que soportará el inversor fotovoltaico. Una vez obtenido este rango de voltajes se procede a calcular el número de paneles mínimo requeridos para hacer funcionar el equipo o el máximo para no dañar este, dato obtenido de las ecuaciones 3 y 4. La ecuación 3. Corresponde al número mínimo de módulos a conectar en serie y la ecuación 4. Al número máximo.

$$\text{Min String Size} = \left(\frac{\text{Inverter } V_{\min}}{\text{Module } V_{\text{mp}_{\min}}} \right)$$

Ecuación 3

Fuente: (Alfsen, Jennifer, 2019)

$$\text{Max String Size} = \left(\frac{\text{Inverter } V_{\max}}{\text{Module } \text{Voc}_{\max}} \right)$$

Ecuación 4.

Fuente: (Alfsen, Jennifer, 2019)

Un dato importante a la hora de realizar estos cálculos es que cuando tengamos el resultado de las ecuaciones 3 y 4, el valor de la ecuación 3 se redondea al entero máximo más cercano y el resultado de la ecuación 4 al entero mínimo más próximo.

Para mayor facilidad al momento de realizar este cálculo, se elaboró una tabla en Excel, en la cual se ingresan los datos requeridos de las hojas técnicas, y unos datos de temperatura acorde al lugar para así realizar este cálculo automáticamente.

La tabla consta de parámetros de entrada y de salida, como se puede observar en la ilustración 9. Siendo los de entrada los datos a ingresar y los de salida los datos de nuestro interés, los

cuales serán decisorios para saber el número de módulos que se conectarán al inversor fotovoltaico.

Parámetros de Entrada	
Parámetros del módulo fotovoltaico	
Voltaje de circuito abierto (Voc)	
Coefficiente de temperatura del Voc (TCVoc)	
Voltaje de máxima potencia (Vmp)	
Coefficiente de temperatura del Vmp (TCVmp o TCPmpp)	
Corriente de corto circuito de módulo solar (Isc)	
Corriente de máxima potencia de módulo solar (Imp)	
Parámetros del inversor solar	
Voltaje máximo de entrada DC	
Voltaje de inicio de arranque DC	
Corriente de corto circuito del inversor (Isc)	
Corriente máxima de entrada de inversor (Imp)	
Información meteorológica del lugar	
Temperatura mínima registrada	
temperatura promedio del lugar	
Incremento de temperatura según método de montaje	

Parámetros de Salida	
Número mínimo de módulos en una cadena	#DIV/0!
Número máximo de módulos en una cadena	#DIV/0!
Número máximo de cadenas a conectar en paralelo	#DIV/0!

Ilustración 9. Hoja de Cálculo para Arreglos Fotovoltaicos

Fuente: Elaboración propia

Una vez ubicados los parámetros de entrada de sus respectivas fichas técnicas, se ingresan a la hoja de cálculo y esta automáticamente nos calcula los parámetros de salida, para visualizar los datos una vez ingresados y los resultados de la hoja, visualizar la ilustración 10 y 11 respectivamente.

Parámetros de Entrada	
Parámetros del módulo fotovoltaico	
Voltaje de circuito abierto (Voc)	45.6
Coefficiente de temperatura del Voc (TCVoc)	-0.31
Voltaje de máxima potencia (Vmp)	37.2
Coefficiente de temperatura del Vmp (TCVmp o TCPmpp)	-0.41
Corriente de corto circuito de módulo solar (Isc)	9.45
Corriente de máxima potencia de módulo solar (Imp)	8.88
Parámetros del inversor solar	
Voltaje máximo de entrada DC	600
Voltaje de inicio de arranque DC	120
Corriente de corto circuito del inversor (Isc)	15
Corriente máxima de entrada de inversor (Imp)	11
Información meteorológica del lugar	
Temperatura mínima registrada	10
temperatura promedio del lugar	37
Incremento de temperatura según método de montaje	30

Ilustración 10. Datos de las fichas técnica ingresados

Fuente: Elaboración propia

Parámetros de Salida	
Número mínimo de módulos en una cadena	5
Número máximo de módulos en una cadena	12
Número máximo de cadenas a conectar en paralelo	1

Ilustración 11. Resultados obtenidos a partir de los parámetros de entrada

Fuente: Elaboración propia

En base a los datos obtenidos se decidió utilizar 10 paneles solares por cadena. Teniendo el inversor 2 entradas. Correspondiente a un total de 20 módulos conectados al inversor, dándonos un total de 6,600 kWp.

Las fichas técnicas del módulo fotovoltaico e inversor utilizados se pueden visualizar en el anexo I y II respectivamente.

4.3. ELABORACIÓN DE SIMULACIÓN

Para el caso de proyectos a pequeña escala el Software SAM es más que suficiente para poder realizar los análisis técnicos y financieros competentes al proyecto. Es por ello que se detalla todos los pasos para la elaboración de la simulación en el System Model Advisor (SAM).

El reporte generado por SAM puede encontrarse en el anexo III.

4.3.1. DEPURACIÓN DE PERFIL DE CARGA

Una vez descargado el perfil de carga correspondiente, se procede a un proceso de preparación, en el cual se busca acomodar un perfil correspondiente a las 8760 horas que tiene un año, este con el objetivo de realizar una comparación exacta entre la energía consumida con la energía generada por el sistema fotovoltaico. Por medio de este proceso se facilita la optimización del sistema fotovoltaico, esto debido a que con la ley actual de la industria eléctrica se especifica que la energía inyectada a la red nacional no será remunerada, si no hasta un futuro, a un precio estipulado por el estado que aún se desconoce. Es por ello de vital importancia realizar el estudio debido, para poder desarrollar un dimensionamiento adecuado a los consumos del cliente.

Como en muchos casos el cliente no cuenta con un perfil de carga, es por ello de suma importancia la instalación del analizador de red en los centros de carga del cliente. Una vez

obtenido el perfil se procede a replicar las horas para así ajustar todas las horas del año, pero realizar esto no es muy preciso, es por ello que por medio de la entrevista se obtiene información de cuáles son los comportamientos de uso y los meses de mayor consumo en el año, para así tratar de asimilar este comportamiento durante el año.

Una vez depurado el perfil se podrá observar gráficamente en el software los datos ingresados, como se visualiza en la ilustración 12.

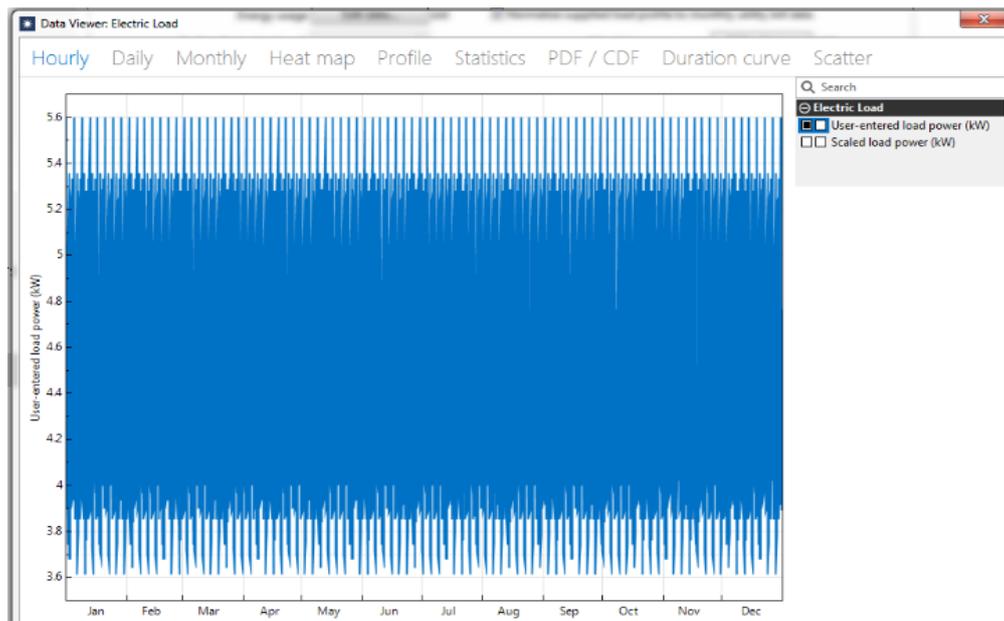


Ilustración 12. Perfil de carga replicado a todo el año

Fuente: (System Advisor Model (SAM), 2019)

4.3.2. SELECCIÓN DE ESTACIÓN METEOROLÓGICA

Para el estudio es sumamente importante la selección de la estación meteorológica más próxima al lugar de estudio, debido a que esta es la que nos brinda los datos de irradiación de la zona, los cuales son claves para el cálculo de generación anual.

Las estaciones meteorológicas disponibles en Honduras son las mostradas en la ilustración 13. Para efectos del proyecto se seleccionará la base de datos de la mesa la cual es la más próxima al proyecto en estudio.

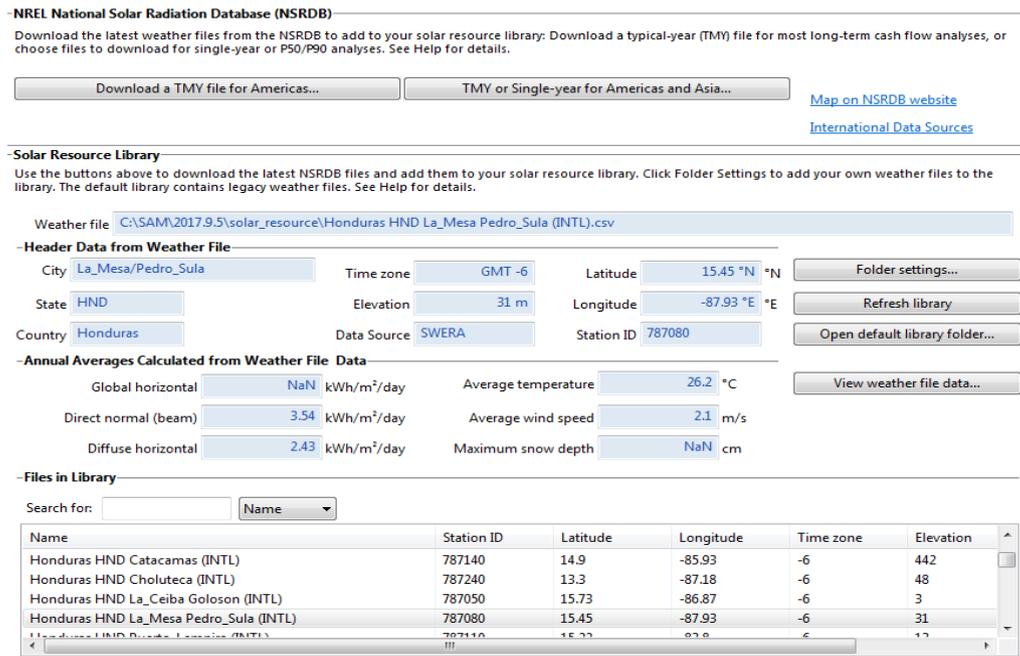


Ilustración 13. Selección de estación meteorológica.

Fuente: (System Advisor Model (SAM), 2019)

4.3.3. INGRESO DE MÓDULO E INVERSOR

Existen dos formas de ingresar el equipo utilizado en el proyecto, una forma es seleccionándolo de la base de datos de SAM y la otra es ingresar los parámetros de la hoja técnica para así crear el dispositivo, esto es muy útil en el caso el dispositivo no se encuentre en la base de datos del System Advisor Model.

Para el caso del módulo fotovoltaico, el modelo utilizado es el CSU6- 330P, modelo existente en la base de datos del SAM. Es por ello que en este caso simplemente el modelo deseado es seleccionado, tal y como se observa en la ilustración 14.

CEC Performance Model with Module Database

Search for: Name

Name	I _{mp_ref}	V _{mp_ref}	A _c	N _s	I _{sc_ref}	V _{oc_ref}	gam
Canadian Solar CS6U-315M	8.53	36.9	1.927	72	9.04	45.5	-0.4
Canadian Solar CS6U-315P	8.61	36.6	1.927	72	9.18	45.1	-0.4
Canadian Solar CS6U-320M	8.61	37.2	1.927	72	9.13	45.6	-0.4
Canadian Solar CS6U-320P	8.69	36.8	1.927	72	9.26	45.3	-0.4
Canadian Solar CS6U-325M	8.69	37.4	1.927	72	9.21	45.8	-0.4
Canadian Solar CS6U-325P	8.78	37	1.927	72	9.34	45.5	-0.4
Canadian Solar CS6U-330M	8.8	37.5	1.927	72	9.31	45.9	-0.4
Canadian Solar CS6U-330P	8.88	37.2	1.927	72	9.45	45.6	-0.4

Module Characteristics at Reference Conditions

Reference conditions: Total Irradiance = 1000 W/m², Cell temp = 25 C

Canadian Solar CS6U-330P

Parameter	Value	Temperature Coefficient
Nominal efficiency	17.1425 %	
Maximum power (P _{mp})	330.336 Wdc	-0.400 %/°C
Max power voltage (V _{mp})	37.2 Vdc	-1.321 W/°C
Max power current (I _{mp})	8.9 Adc	
Open circuit voltage (V _{oc})	45.6 Vdc	-0.307 %/°C
Short circuit current (I _{sc})	9.4 Adc	-0.047 %/°C

Temperature Correction

Nominal operating cell temperature (NOCT) method
 Heat transfer method

Refer to Help for more information about CEC cell temperature models.

NOCT method parameters

Mounting standoff:
Array height:

Heat transfer method parameters

Mounting configuration:
Heat transfer dimensions:
Mounting structure orientation:
Module width:
Module length:
Rows of modules in array:
Columns of modules in array:
Temperature behind the module:
Space between module back and roof surface:

Physical Characteristics

Material: Module area: Number of cells:

Additional Parameters

T_{noct}: I_{L_ref}: R_s:
A_{ref}: I_{o_ref}: R_{sh_ref}:

References

Ilustración 14. Selección del módulo fotovoltaico en SAM.

Fuente: (System Advisor Model (SAM), 2019)

En el caso del inversor, al ser muy actual, no se encuentra en existencia dentro de la base de datos del software. Lo cual nos obliga a ingresar el inversor manualmente. Siendo este un Sun2000-5KTL de la marca Huawei, lo último de Huawei en inversores a pequeña escala de la línea fusión home.

Los parámetros solicitados para el ingreso del inversor son los que se pueden observar en la ilustración 15, todos estos obtenidos de la ficha técnica del inversor.

Inverter Datasheet ▾

Power Ratings

Maximum AC output power Wac

Weighted efficiency

 Manufacturer efficiency

Maximum DC input power Wdc

You can specify either a weighted or nominal efficiency. The weighted efficiency can be either CEC or European. The manufacturer efficiency can be either peak or nominal. See Help for details.

Operating Ranges

Nominal AC voltage Vac Minimum MPPT DC voltage Vdc

Maximum DC voltage Vdc Nominal DC voltage Vdc

Maximum DC current Adc Maximum MPPT DC voltage Vdc

Losses

Power consumption during operation Wdc Suggested value Wdc

Power consumption at night Wac Suggested value Wac

If the datasheet does not specify loss values, you can use the suggested values to approximate the losses. See Help for details.

Note: If you are modeling a system with microinverters or DC power optimizers, see the "Losses" page to adjust the system losses accordingly.

Save / Load Data

Ilustración 15. Ingreso de parámetros para inversor inexistente en base de datos
Fuente: (System Advisor Model (SAM), 2019)

4.3.4. DISEÑO DEL PROYECTO

En esta sección es donde se dimensiona el proyecto deseado, es aquí donde la potencia a instalar es ingresada por medio del número de paneles por cadena y número de cadenas a conectar en paralelo.

Se define también el tipo de instalación que será el proyecto, ya sea sobre techo o sobresuelo. La inclinación a la que los módulos estarán y la orientación de estos. La configuración la cual se utilizó para el proyecto son los visualizados en la ilustración 16.

System Sizing

Specify desired array size
 Desired array size kWdc
 DC to AC ratio

Specify modules and inverters
 Modules per string
 Strings in parallel
 Number of inverters

Configuration at Reference Conditions

Modules		Inverters	
Nameplate capacity	6.607 kWdc	Total capacity	5.000 kWac
Number of modules	20	Total capacity	5.102 kWdc
Modules per string	10	Number of inverters	1
Strings in parallel	2	Maximum DC voltage	600.0 Vdc
Total module area	38.5 m ²	Minimum MPPT voltage	260.0 Vdc
String Voc	456.0 V	Maximum MPPT voltage	480.0 Vdc
String Vmp	372.0 V	Battery maximum power	0.000 kWdc

Sizing messages (see Help for details):
 Actual DC/AC ratio is 1.32.

Voltage and capacity ratings are at module reference conditions shown on the Module page.

DC Subarrays

To model a system with one array, specify properties for Subarray 1 and disable Subarrays 2, 3, and 4. To model a system with up to four subarrays connected in parallel to a single bank of inverters, for each subarray, check Enable and specify a number of strings and other properties.

	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
-String Configuration		<input type="checkbox"/> Enable	<input type="checkbox"/> Enable	<input type="checkbox"/> Enable
Strings in array	<input type="text" value="2"/> (always enabled)	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Strings allocated to subarray	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
-Tracking & Orientation				
Azimuth	<input checked="" type="radio"/> Fixed	<input checked="" type="radio"/> Fixed	<input checked="" type="radio"/> Fixed	<input checked="" type="radio"/> Fixed
	<input type="radio"/> 1 Axis	<input type="radio"/> 1 Axis	<input type="radio"/> 1 Axis	<input type="radio"/> 1 Axis
	<input type="radio"/> 2 Axis	<input type="radio"/> 2 Axis	<input type="radio"/> 2 Axis	<input type="radio"/> 2 Axis
	<input type="radio"/> Azimuth Axis	<input type="radio"/> Azimuth Axis	<input type="radio"/> Azimuth Axis	<input type="radio"/> Azimuth Axis
	<input type="radio"/> Seasonal Tilt	<input type="radio"/> Seasonal Tilt	<input type="radio"/> Seasonal Tilt	<input type="radio"/> Seasonal Tilt
	<input type="checkbox"/> Tilt=latitude	<input type="checkbox"/> Tilt=latitude	<input type="checkbox"/> Tilt=latitude	<input type="checkbox"/> Tilt=latitude
Tilt (deg)	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="20"/>	<input type="text" value="20"/>	<input type="text" value="20"/>
Azimuth (deg)	<input type="text" value="180"/>	<input type="text" value="180"/>	<input type="text" value="180"/>	<input type="text" value="180"/>
Ground coverage ratio (GCR)	<input type="text" value="0.3"/>	<input type="text" value="0.3"/>	<input type="text" value="0.3"/>	<input type="text" value="0.3"/>
Tracker rotation limit (deg)	<input type="text" value="45"/>	<input type="text" value="45"/>	<input type="text" value="45"/>	<input type="text" value="45"/>
Backtracking	<input type="checkbox"/> Enable	<input type="checkbox"/> Enable	<input type="checkbox"/> Enable	<input type="checkbox"/> Enable

Ground coverage ratio is used (1) to determine when a one-axis tracking system will backtrack, (2) in self-shading calculations for fixed tilt or one-axis tracking systems on the Shading page, and (3) in the total land area calculation. See Help for details.

Estimate of Overall Land Usage

Total module area	<input type="text" value="38.5"/> m ²	SAM uses the total land area only when you specify a \$/acre cost on the System Costs page: Total land area = total module area ÷ GCR × 0.0002471 (1 m ² = 0.0002471 acre).
Total land area	<input type="text" value="0.0"/> acres	

Ilustración 16. Ingreso de parámetros para dimensionamiento del sistema.

Fuente: (System Advisor Model (SAM), 2019)

4.3.5. PÉRDIDAS

Son muchas las pérdidas que se pueden detallar en un sistema solar fotovoltaico, las cuales son de suma importancia a la hora de detallar la veracidad de resultados en un sistema solar. Mientras más exactos y precisos seamos con estas pérdidas, más acertados serán nuestros resultados obtenidos en la realidad.

El SAM no cuenta con el nivel de detalle de pérdidas que nos brinda el PvSyst. Es por ello que para cálculos técnicos o realizar propuestas a mayor nivel de detalle se realiza la simulación en PvSyst para luego ajustar las pérdidas de SAM a las de PvSyst, para que los análisis realizados por SAM sean más reales.

A nivel de un proyecto de esta magnitud es mucho más sencillo controlar las pérdidas que se tendrán. Ya que al ser a pequeña escala nos brinda la facilidad de que es mucho más sencillo identificar perdidas y controlar resultados. En la ilustración 17 puede observarse los parámetros utilizados para las perdidas en la simulación.

Irradiance Losses
Soiling losses apply to the total solar irradiance incident on each subarray. SAM applies these losses in addition to any losses on the Shading and Snow page.

	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
Monthly soiling loss	<input type="button" value="Edit values..."/>			
Average annual soiling loss	5	5	5	5

DC Losses
DC losses apply to the electrical output of each subarray and account for losses not calculated by the module performance model.

Module mismatch (%)	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Diodes and connections (%)	<input type="text" value="0.5"/>	<input type="text" value="0.5"/>	<input type="text" value="0.5"/>	<input type="text" value="0.5"/>
DC wiring (%)	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="2"/>
Tracking error (%)	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Nameplate (%)	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
DC power optimizer loss (%)	<input type="text" value="0"/>	All four subarrays are subject to the same DC power optimizer loss.		
Total DC power loss (%)	4.440	2.490	2.490	2.490

Total DC power loss = 100% * [1 - the product of (1 - loss/100%)]

-Default DC Losses-
Apply default losses to replace DC losses for all subarrays with default values.

Apply default losses for:

AC Losses
AC losses apply to the electrical output of the inverter and account for losses not calculated by the inverter performance model.

AC wiring %

Transformer Losses
The transformer loss model is intended for distribution or substation transformers in large PV systems. Losses apply to the electrical output of the inverter and assume a power factor of 1. The transformer capacity is equal to the total inverter AC power rating.

Transformer no load loss % Transformer load loss %

Curtailment and Availability
Curtailment and availability losses reduce the system output to represent system outages or other events. Curtailment and availability losses may be applied either on the DC or AC side of the system.

<p>-DC Losses-</p> <p><input type="button" value="Edit losses..."/> Constant loss: 0.0 % Hourly losses: None Custom periods: None</p>	<p>-AC Losses-</p> <p><input type="button" value="Edit losses..."/> Constant loss: 0.0 % Hourly losses: None Custom periods: None</p>
--	--

Ilustración 17. Sección de pérdidas del software SAM.

Fuente: (System Advisor Model (SAM), 2019)

4.3.6. VIDA ÚTIL

El programa cuenta con la funcionalidad de simular a lo largo de la vida útil del sistema un nivel detallado de pérdidas año a año, esto para casos especiales de proyectos específicos, o también ingresar una degradación lineal, el cual es el caso más común en los proyectos. La degradación más significativa y a considerar es la degradación del panel solar. La cual brinda el fabricante en sus hojas técnicas. Para un proyecto sobresuelo con funcionamiento normal y mantenimiento continuo a lo largo de su vida útil la mayor degradación es la del panel fotovoltaico. Es por ello que para este proyecto se limita a la degradación anual del panel fotovoltaico tal y como se observa en la ilustración 18.

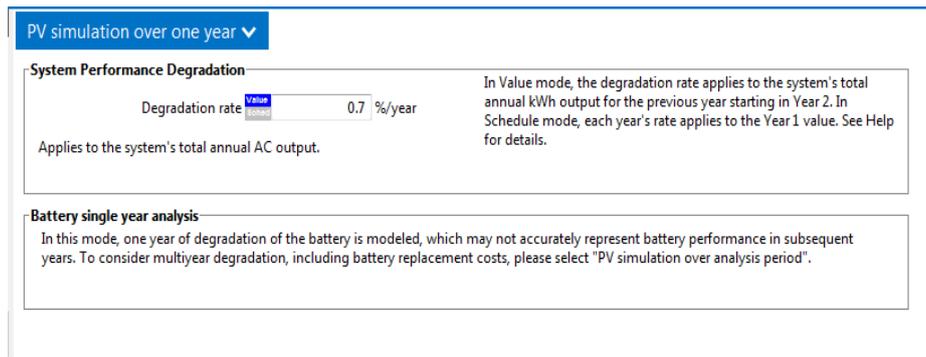


Ilustración 18. Configuración de vida útil del proyecto.

Fuente: (System Advisor Model (SAM), 2019)

4.3.7. COSTO DEL SISTEMA

Una parte vital para la venta de un proyecto radica en el precio al cual este será vendido. En el mercado nacional e internacional se maneja un costo por Watt instalado, el cual se refiere a la potencia en módulos solares instalada o kWp, usualmente se utiliza precios en dólares.

Por cuestiones de confidencialidad la empresa no permite divulgar los precios manejados para proyecto. Por lo cual se utilizará un precio pactado por la empresa como adecuado para el estudio de 1.6 \$/Wp.

El software cuenta con la capacidad de considerar el proyecto con financiamiento, en otras palabras, asumiendo que el fondo para pagar el préstamo es proveniente de una fuente externa, ya sea un banco o cualquier otro medio. Permitiendo calcular la recuperación y todos los datos financieros del proyecto considerando los intereses y cuotas a pagar mes a mes del préstamo obtenido. Siendo este proyecto de fondos propios, todos los datos de préstamos pueden ser obviados o ingresando ceros en la simulación como se muestra en la ilustración 19.

Direct Capital Costs						
Module	20 units	0.3 kWdc/unit	6.6 kWdc	1.60 \$/Wdc		\$ 10,570.75
Inverter	1 units	5.0 kWac/unit	5.0 kWac	0.00 \$/Wdc		\$ 0.00
Battery bank		0.0 kWh dc	500.00 \$/kWh dc			\$ 0.00
		\$	\$/Wdc	\$/m ²		
Balance of system equipment		0.00	0.00	0.00		\$ 0.00
Installation labor		0.00	0.00	0.00	=	\$ 0.00
Installer margin and overhead		0.00	0.00	0.00		\$ 0.00
Subtotal						\$ 10,570.75
-Contingency						
				Contingency	0 % of subtotal	\$ 0.00
Total direct cost						\$ 10,570.75

Indirect Capital Costs						
Permitting and environmental studies		% of direct cost	0.00	\$/Wdc	0.00	\$ 0.00
Engineering and developer overhead		0	0.00	0.00	=	\$ 0.00
Grid interconnection		0	0.00	0.00		\$ 0.00
-Land Costs						
Land area	0.0 acres					
Land purchase	\$ 0/acre	0	0.00	0.00	=	\$ 0.00
Land prep. & transmission	\$ 0/acre	0	0.00	0.00		\$ 0.00
-Sales Tax						
Sales tax basis, percent of direct cost	0 %	Sales tax rate	0.0 %			\$ 0.00
Total indirect cost						\$ 0.00

Total Installed Cost	
Total installed cost	\$ 10,570.75
Total installed cost per capacity	\$ 1.60/Wdc

Operation and Maintenance Costs				
	First year cost	Escalation rate (above inflation)		
Fixed annual cost	Value: 0 \$/yr	0 %		In Value mode, SAM applies both inflation and escalation to the first year cost to calculate out-year costs. In Schedule mode, neither inflation nor escalation applies. See Help for details.
Fixed cost by capacity	Value: 0 \$/kW-yr	0 %		
Variable cost by generation	Value: 0 \$/MWh	0 %		

Ilustración 19. Configuración de sección de costos del sistema.

Fuente: (System Advisor Model (SAM), 2019)

4.3.8. PARÁMETROS FINANCIEROS

En este apartado se detalla los parámetros del préstamo, los cuales para este caso no aplican, por lo tanto, los datos relacionados al prestamos se ingresan como ceros. Para visualizar los datos configurados en los parámetros financieros ver ilustración 20.

La configuración de la depreciación sirve para hacer más reales los cálculos financieros, estos son manejados en línea recta por 10 años, considerados así por la ley hondureña.

Project Term Debt	
Debt percent	<input type="text" value="0"/> %
Loan term	<input type="text" value="0"/> years
Loan rate	<input type="text" value="0"/> %/year
Net capital cost	<input type="text" value="\$ 10,570.75"/>
Debt	<input type="text" value="\$ 0.00"/>
WACC	<input type="text" value="8.15"/> %

The weighted average cost of capital (WACC) is displayed for reference. SAM does not use the value for calculations.

For a project with no debt, set the debt percent to zero.

Analysis Parameters	
Analysis period	<input type="text" value="25"/> years
Inflation rate	<input type="text" value="5"/> %/year
Real discount rate	<input type="text" value="3"/> %/year
Nominal discount rate	<input type="text" value="8.15"/> %/year

Tax and Insurance Rates	
Federal income tax rate	<input type="text" value="0"/> %/year
State income tax rate	<input type="text" value="0"/> %/year
Sales tax	<input type="text" value="0"/> % of total direct cost
Insurance rate (annual)	<input type="text" value="0"/> % of installed cost
-Property Tax-	
Assessed percentage	<input type="text" value="0"/> % of installed cost
Assessed value	<input type="text" value="\$ 0.00"/>
Annual decline	<input type="text" value="0"/> %/year
Property tax rate	<input type="text" value="0"/> %/year

Salvage Value	
Net salvage value	<input type="text" value="0"/> % of installed cost
End of analysis period value	<input type="text" value="\$ 0"/>

Depreciation	
Federal <input type="radio"/> No depreciation <input type="radio"/> 5-yr MACRS <input checked="" type="radio"/> Straight line <input type="text" value="10"/> years <input type="radio"/> Custom <input type="text" value=""/> percentages <input type="button" value="Edit..."/>	
State <input type="radio"/> No depreciation <input type="radio"/> 5-yr MACRS <input checked="" type="radio"/> Straight line <input type="text" value="10"/> years <input type="radio"/> Custom <input type="text" value=""/> percentages <input type="button" value="Edit..."/>	

The depreciable basis is the sum of total installed cost from the System Costs page and total construction financing cost from the Financing page, less the sum of investment-based incentives (IBI) and 50% of any investment tax credits (ITC).

Ilustración 20. Configuración de parámetros financieros

Fuente: (System Advisor Model (SAM), 2019)

4.3.9. TARIFAS DE LA ELECTRICIDAD

Esta es una de las secciones más críticas, es aquí donde se detalla la situación eléctrica nacional. En esta etapa se le ingresa al programa, tarifas, si en alguna hora en específico fluctúa el costo de la energía o mejor conocido como horas valle y horas pico, el costo de compra de la energía inyectada a la red eléctrica y el método de pago de este. Los parámetros utilizados para la simulación son los detallados en la ilustración 21.

OpenEI U.S. Utility Rate Database
 Download rate structures for electric utility companies included in the OpenEI Utility Rate Database. After downloading a rate structure, compare the inputs below with a copy of the rate sheet to verify that the information is correct.

Search for rates...
[Go to Open EI Utility Rate Database website](#)

Save / Load Rate Data
 Save rate to file... Load rate from file...

Monthly Accounting of Excess Generation

Monthly total excess rolled over to next month bill in kWh
 Monthly total excess credited to next month bill in \$ at sell rate(s)
 Cumulative hourly (subhourly) excess credited to current month bill in \$ at sell rate(s)
 Cumulative hourly (subhourly) excess credited to next month bill in \$ at sell rate(s)
 All generation sold at sell rate(s) and all load purchased at buy rate(s)

Sell rate for kWh rolled over at end of year: 0 \$/kWh

Use hourly (subhourly) sell rates instead of TOU sell rates

Hourly (subhourly) sell rates: Edit data... \$/kWh

Fixed Charge
 Fixed monthly charge: 90 \$

Annual Escalation
 Electricity bill escalation rate: 0 %/yr

Minimum Charges
 Monthly minimum charge: 0 \$
 Annual minimum charge: 0 \$

In Value mode, enter a rate in real terms because SAM applies both escalation and inflation to the total first-year electricity bill to calculate the annual electricity bill in later years. In Schedule mode, enter rates in nominal terms because inflation does not apply. See Help for details.

+ Description and Applicability
 - Energy Charges

Rates for Energy Charges

Import... Export... Copy Paste

Number of entries: 1

Period	Tier	Max. Usage	Max. Usage Units	Buy (\$/kWh)	Sell (\$/kWh)
1	1	1e+38	kWh	0.197	0

Weekday

	12am	1am	2am	3am	4am	5am	6am	7am	8am	9am	10am	11am	12pm	1pm	2pm	3pm	4pm	5pm	6pm	7pm	8pm	9pm	10pm	11pm
Jan	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Feb	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mar	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Apr	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
May	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Jun	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Jul	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Aug	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sep	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Oct	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Nov	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Dec	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Ilustración 21. Configuración de parámetros de tarifas eléctricas de hacienda Villa Dona.

Fuente: (System Advisor Model (SAM), 2019)

4.3.10. CARGA ELÉCTRICA

Como se detalló en la primera sección de este apartado (4.3.1.) la depuración del perfil de carga es esencial para el dimensionamiento del proyecto, no sólo por tener una idea de la potencia a instalar, si no también debido a que gracias a estos datos el sistema calculará la energía real aprovechada por el sistema y nos permite realizar un cálculo exacto de la energía inyectada anual. La cual nos es pagada por la ENEE por los momentos como lo detalla la ley. Haciendo mucho más precisos los cálculos tanto técnicos como económicos.

Es en este apartado donde se ingresa el perfil de carga y los consumos de energía mensuales del cliente, estos obtenidos de sus recibos mensuales de consumo eléctrico. La visualización del apartado en general se puede observar en la ilustración 22.

Input Time Series Load Data ▾

Electric Load Data

Energy usage kW Normalize supplied load profile to monthly utility bill data

Scaling factor (optional) Monthly energy usage kWh

-Monthly Load Summary-

	Energy (kWh)	Peak (kW)
Jan	4,638.00	7.95
Feb	4,699.00	8.92
Mar	4,628.00	7.94
Apr	4,779.00	8.48
May	4,431.00	7.59
Jun	4,502.00	7.98
Jul	4,803.00	8.24
Aug	4,540.00	7.78
Sep	4,826.00	8.56
Oct	4,723.00	8.11
Nov	4,791.00	8.49
Dec	4,752.00	8.15
Annual	56,112.00	8.92

-Annual Adjustment-

Load growth rate %/yr

In Value mode, the growth rate applies to the previous year's annual kWh load starting in Year 2. In Schedule mode, each year's rate applies to the Year 1 kWh value. See Help for details.

Ilustración 22. Sección de configuración de datos de carga eléctrica.

Fuente: (System Advisor Model (SAM), 2019)

La finalidad de ingresar estos consumos obtenidos de los recibos de energía eléctrica es lograr tener precisamente los consumos de energía para así utilizar la función de normalizar, la cual nos ayuda escalar el perfil de carga a las lecturas de potencia mes a mes, ya sea atenuando o aumentando su valor.

El perfil de carga antes y después de usar la función normalizar se puede observar gráficamente para todas las horas del año en la ilustración 23.

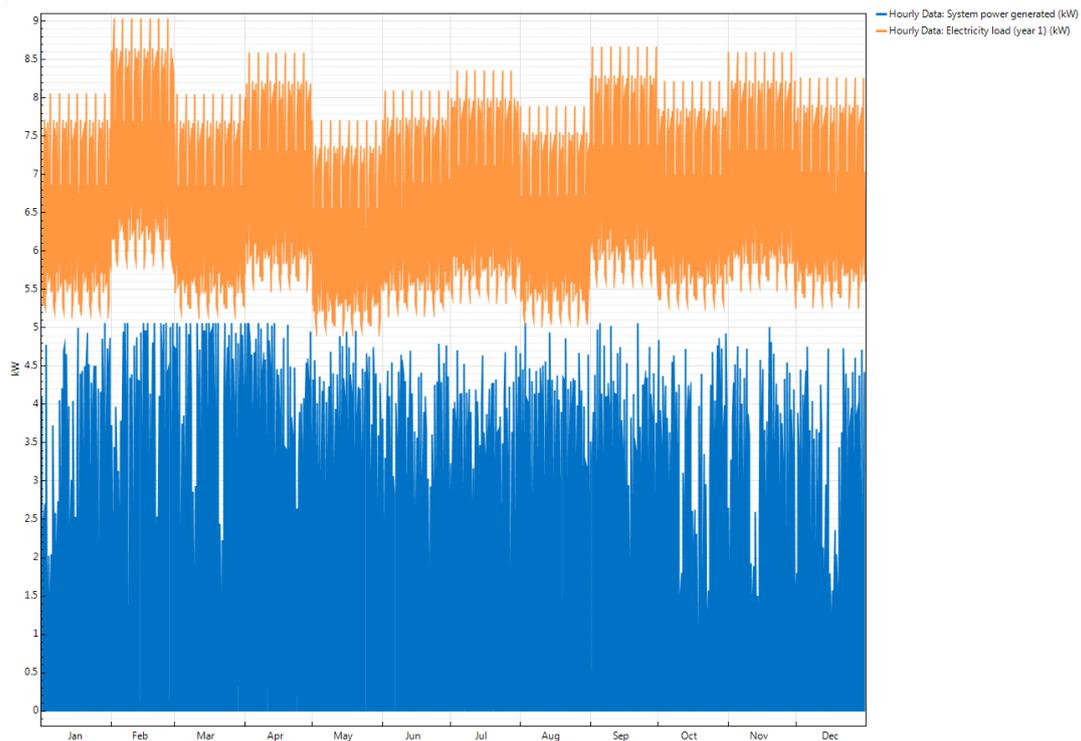


Ilustración 23. Consumo de la radio Vs Normalización en base a facturas.

Fuente: (System Advisor Model (SAM), 2019)

Una vez llegando a esta etapa se procede a realizar el análisis de resultados, estos obtenidos de simular los parámetros detallados en esta sección.

4.4. RESULTADOS TÉCNICOS

Los resultados técnicos son mostrados en la tabla 2, todos estos datos obtenidos y calculados a partir de los resultados de la simulación de SAM.

Tabla 2. Resumen de resultados técnicos

RESULTADOS TÉCNICOS		
Rendimiento Unitario	1,469	kWh/kW
Energía Anual Generada	9,706	kWh
Energía Anual Autoconsumida	9,706	kWh
Energía Inyectada a Red	0.00	kWh
Energía Inyectada a Red	0.00	%
Ahorro Energético Mensual	808.83	kWh
Reducción en Consumo Energético	17	%
Factor de Planta	16.77	%
Factor de Rendimiento	79	%

Fuente: Elaboración propia

Para facilitar la comprensión del cliente con los resultados de las simulaciones obtenidas se copian parámetros especiales de la simulación. A partir de estos parámetros se realizan algunos gráficos que ayuden a ver todos los resultados obtenidos. Todos estos gráficos son mostrados a continuación.

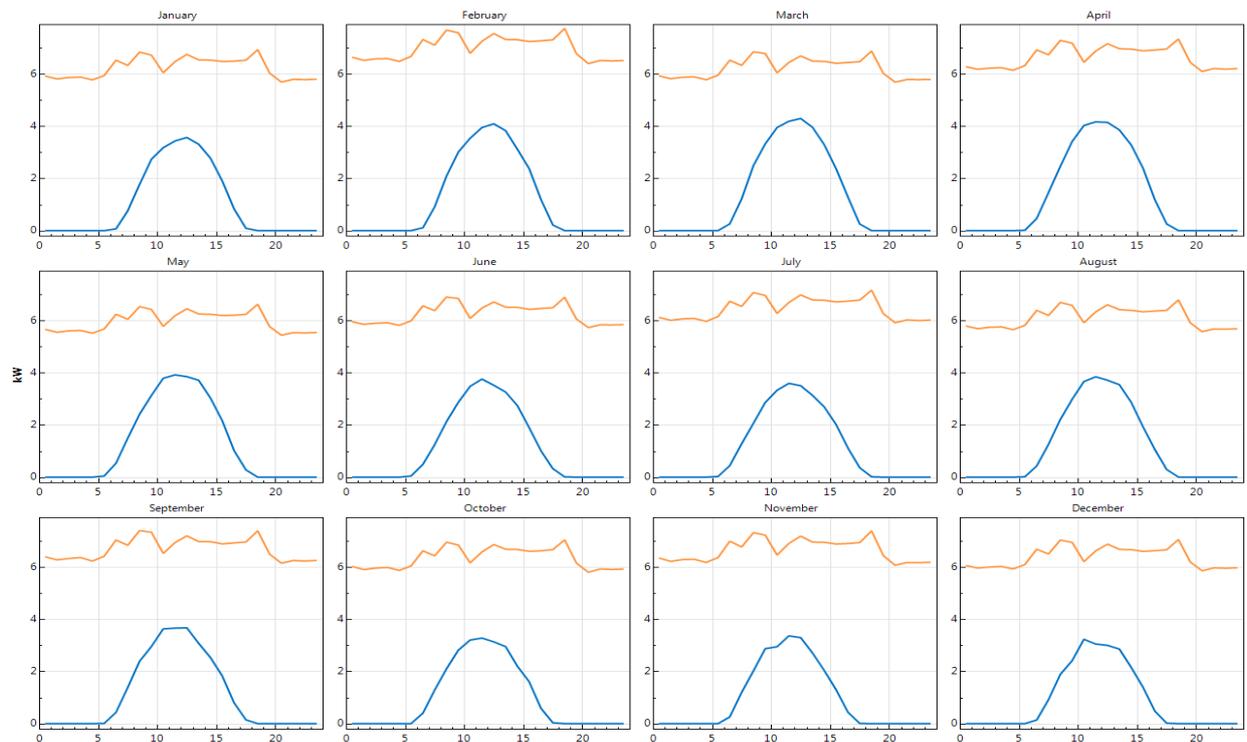


Ilustración 24. Consumo Vs Generación promedio mensual. (kW Vs hora)

Fuente: (System Advisor Model (SAM), 2019)

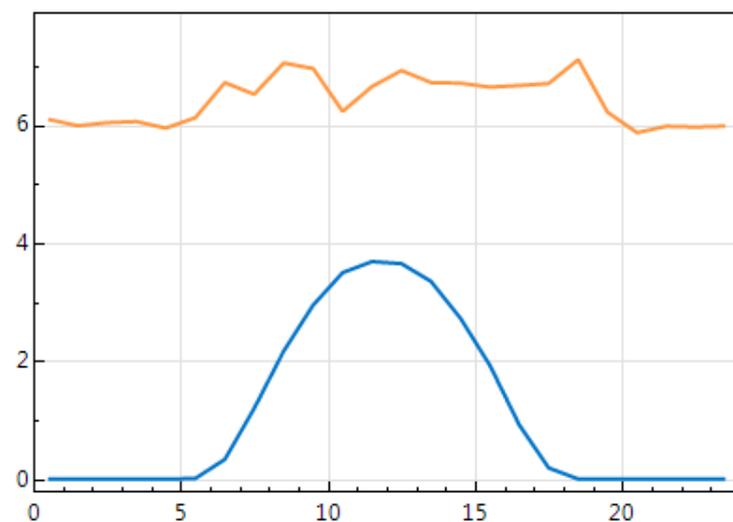


Ilustración 25. Consumo Vs Generación promedio anual. (kW Vs hora)

Fuente: (System Advisor Model (SAM), 2019)

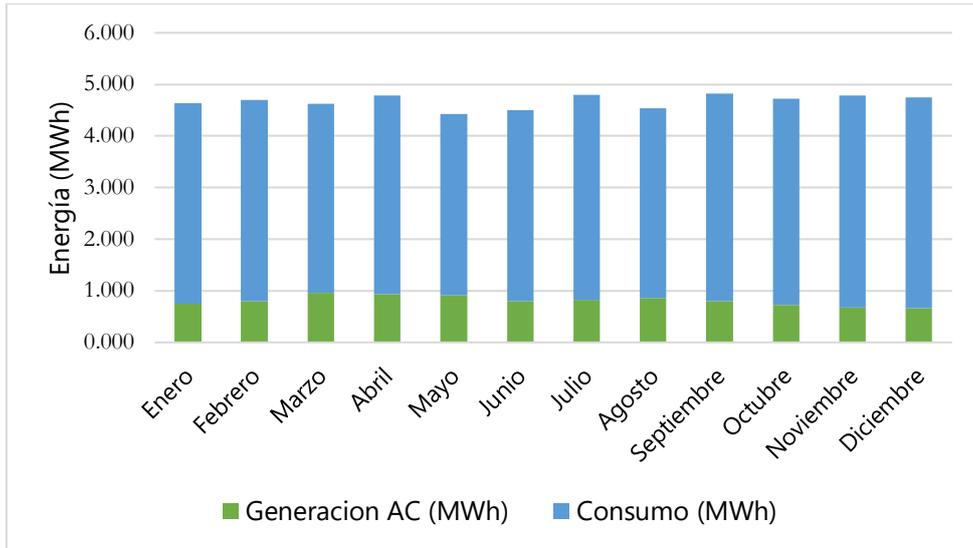


Ilustración 26. Consumo Vs Generación del sistema

Fuente: Elaboración propia

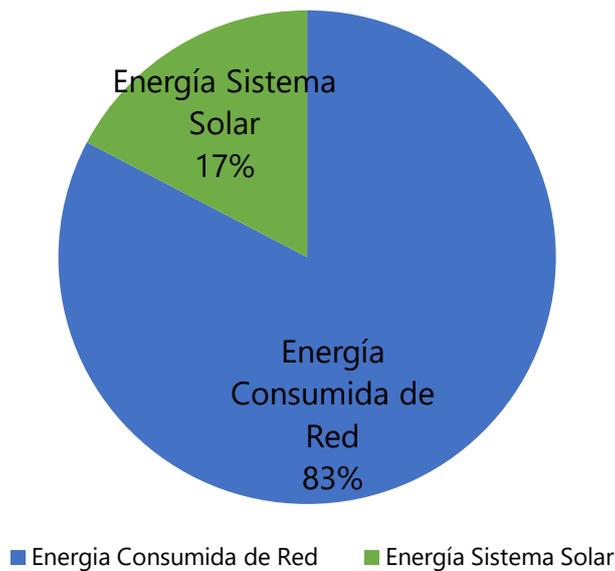


Ilustración 27. Matriz energética.

Fuente: Elaboración propia

4.5. RESULTADOS FINANCIEROS

Al igual que en los resultados técnicos se realiza una tabla resumen en la cual se muestran los datos de mayor importancia competentes al proyecto. Tabla que se muestra a continuación.

Tabla 3. Resumen de resultados financieros

RESULTADOS FINANCIEROS		
Costo total de la inversión	10,571	\$
Costo por Watt instalado	1.6	\$
Valor Presente Neto (VPN)	18,927	\$
Período de repago	5.1	años
Tasa Interna de Rendimiento (TIR)	22	%

Fuente: Elaboración propia

Los flujos de caja y comparaciones de energía son mostrados gráficamente para hacer más fácil su visualización. Dichos gráficos son mostrados a continuación.

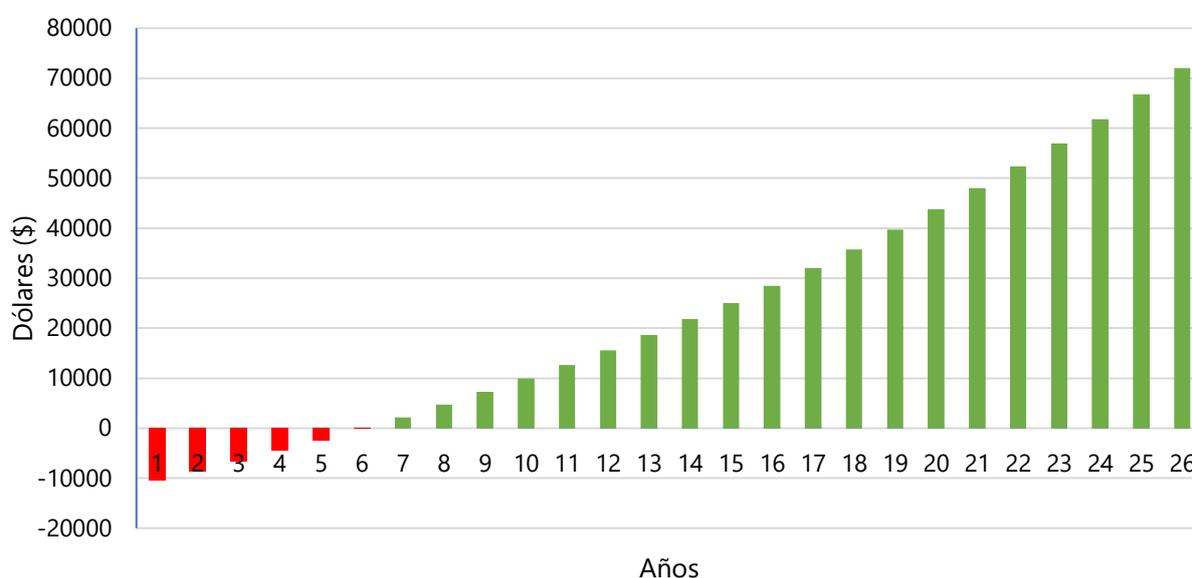


Ilustración 28. Flujo de caja acumulado anual

Fuente: Elaboración propia

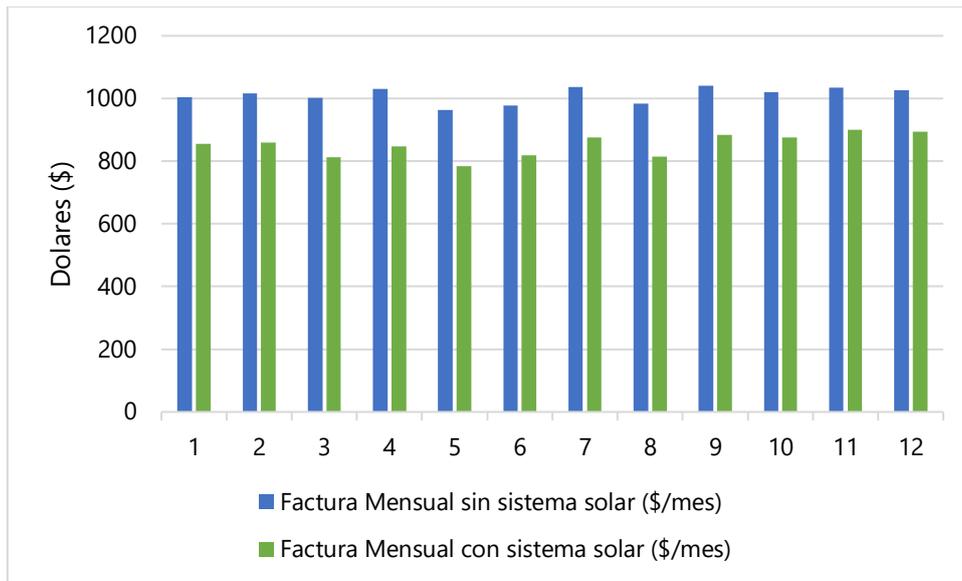


Ilustración 29. Factura Eléctrica Mensual

Fuente: Elaboración propia

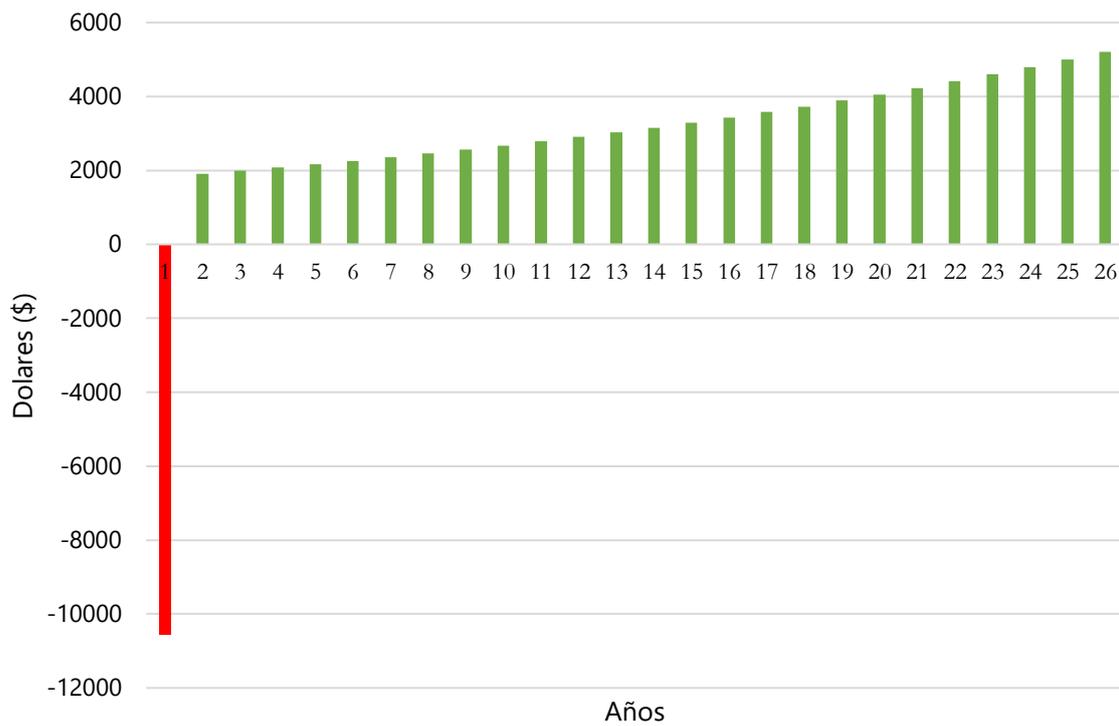


Ilustración 30. Flujo de Caja

Fuente: Elaboración propia

4.6 RESULTADOS AMBIENTALES

Uno de los atractivos para estos proyectos son los beneficios ambientales que estos producen a lo largo de su vida útil. Los resultados resumidos los cuales fueron calculados para toda la vida útil del proyecto se visualizan en la tabla 4.

Tabla 4. Resumen de beneficios ambientales durante vida útil del proyecto

BENEFICIOS AMBIENTALES		
Toneladas de CO2 evitadas	78	Ton
Equivalente de Árboles Plantados	3562	Árboles
Hectáreas de Bosque	9	Hectáreas

Fuente: Elaboración propia

El cálculo de estos resultados es realizado con la energía generada año a año por el sistema, considerando las pérdidas y la degradación del equipo. Los datos anteriores son el resultado de los 25 años de vida útil que se le considera al equipo.

Para visualizar cómo se obtuvieron estos cálculos visualizar la tabla 5.

Tabla 5. Cálculo de emisiones año a año

AÑO	ENERGIA GENERADA ANUAL (kWh)	Factor de emisión (Kg de CO2 eq/kWh)	Kg de CO2 evitadas por año.	Ton. de CO2 evitadas por año.	Un arbol promedio absorbe 22 kg de CO2 al año.	Ha. De Bosque .
1	9,706	0.3509	3405.9519	3.4	154.82	0.39
2	9638.387676	0.3509	3382.1102	3.4	153.73	0.38
3	9570.918962	0.3509	3358.4355	3.4	152.66	0.38
4	9503.92253	0.3509	3334.9264	3.3	151.59	0.38
5	9437.395072	0.3509	3311.5819	3.3	150.53	0.38
6	9371.333306	0.3509	3288.4009	3.3	149.47	0.37
7	9305.733973	0.3509	3265.3821	3.3	148.43	0.37
8	9240.593835	0.3509	3242.5244	3.2	147.39	0.37
9	9175.909679	0.3509	3219.8267	3.2	146.36	0.37
10	9111.678311	0.3509	3197.2879	3.2	145.33	0.36
11	9047.896563	0.3509	3174.9069	3.2	144.31	0.36
12	8984.561287	0.3509	3152.6826	3.2	143.30	0.36
13	8921.669358	0.3509	3130.6138	3.1	142.30	0.36
14	8859.217672	0.3509	3108.6995	3.1	141.30	0.35
15	8797.203148	0.3509	3086.9386	3.1	140.32	0.35
16	8735.622726	0.3509	3065.33	3.1	139.33	0.35
17	8674.473367	0.3509	3043.8727	3.0	138.36	0.35
18	8613.752054	0.3509	3022.5656	3.0	137.39	0.34
19	8553.455789	0.3509	3001.4076	3.0	136.43	0.34
20	8493.581599	0.3509	2980.3978	3.0	135.47	0.34
21	8434.126528	0.3509	2959.535	3.0	134.52	0.34
22	8375.087642	0.3509	2938.8183	2.9	133.58	0.33
23	8316.462028	0.3509	2918.2465	2.9	132.65	0.33
24	8258.246794	0.3509	2897.8188	2.9	131.72	0.33
25	8200.439067	0.3509	2877.5341	2.9	130.80	0.33
TOTAL			78365.8	78.4	3562.1	8.9

Fuente: (Electric Solar, 2019)

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De todo el proceso realizado se obtuvieron resultados los cuales nos ayudaron a concluir los objetivos planteados y realizar recomendaciones competentes al proyecto. Las cuales son detallados a continuación.

5.1. CONCLUSIONES

- Se cuantificó la demanda de la hacienda Bella Dona, con un consumo promedio mensual de 4.5 kW y picos de 5.6 kW en corriente alterna, determinando así el dimensionamiento de un proyecto solar de 6.6kWp en corriente directa y 5kWp en corriente alterna.
- Se dimensionó el generador solar fotovoltaico de 6600 Wp, equivalente a 20 módulos solares con una inyección de energía a red nula, concluyendo así que toda la energía generada por el sistema solar fotovoltaico es consumida dentro de las instalaciones.
- Se encontró una TIR del 22%. Siendo esta TIR viable bajo los criterios establecidos en el presente informe, ya que supera considerablemente el costo promedio ponderado de capital obtenido de los parámetros financieros siendo este el que se estableció como el mínimo que debía alcanzar para ser factible la realización de la inversión. Concluyendo que este proyecto es viable tanto técnica como económicamente hablando.

5.2. RECOMENDACIONES

En esta sección se brindan recomendaciones que puedan ayudar a mejorar los ámbitos relacionados al proyecto.

- Se recomienda disminuir la demanda aplicando técnicas de eficiencia energética.
- Considerar una futura expansión para cubrir un mayor porcentaje de energía consumida.
- Se le recomienda al cliente invertir en este proyecto debido a los resultados obtenidos del análisis financiero, los cuales mostraron que es una inversión tentativa para cualquiera.

BIBLIOGRAFÍAS

Alfsen, Jennifer. (s. f.). How to Calculate PV String Size. Recuperado 16 de marzo de 2019, de

Mayfield Renewables website: <https://www.mayfield.energy/blog/pv-string-size>

Autodesk. (s. f.). AutoCAD es un programa de dibujo por computadora CAD. Recuperado 3 de marzo

de 2019, de <http://www.3dcadportal.com/autocad.html>

Boletín Estadístico Enee. (s. f.). Recuperado 17 de marzo de 2019, de

<http://www.enee.hn/planificacion/2018/EstadisticasAnuales2017/index.html>

Canadian Solar. (2019). Recuperado 1 de abril de 2019, de <https://www.canadiansolar.com/en>

Carta, J. A. (2012). *Centrales de energías renovables* (2.^a ed.). Recuperado de

<https://www.biblionline.pearson.com/Pages/BookDetail.aspx?b=1411>

Electric Solar. (2019).

Fusion Home Huawei. (2019). Recuperado 1 de abril de 2019, de

<http://solar.huawei.com/eu/products>

Gabriel Baca Urbina. (2013). *Evaluación de Proyectos*.

Heller, Jacobo. (2014). MANUAL PARA LA REDACCIÓN DE TESIS DE POSTGRADO. *UNIVERSIDAD*

TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA FACULTAD DE POSTGRADO.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la*

investigación (6a. ed.). Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/laureatemhe/detail.action?docID=3224545>

PvSyst. (s. f.). PvSyst. Recuperado 3 de marzo de 2019, de PvSyst website: <https://www.pvsyst.com/>

Software de diseño 3D | Modelado 3D en la web | SketchUp. (s. f.). Recuperado 3 de marzo de 2019,

de <https://www.sketchup.com/es>

SOLARGIS. (s. f.). Bankable solar data for better decisions. Recuperado 17 de marzo de 2019, de

<https://solargis.com/>

Spiegel, E., McArthur, N., & Norton, R. (2010). *La nueva era del cambio energético*. Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/laureatemhe/detail.action?docID=3196022>

System Advisor Model (SAM) |. (s. f.). Recuperado 3 de marzo de 2019, de <https://sam.nrel.gov/>

Tobajas Vázquez, C. (2018). *Energía solar fotovoltaica*. Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=5349504>

ANEXOS

ANEXO I. REPORTE DE SIMULACIÓN DE SYSTEM ADVISOR MODEL (SAM)

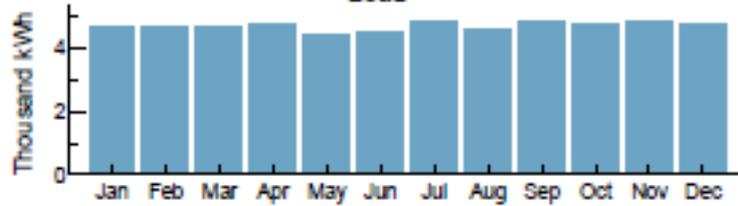
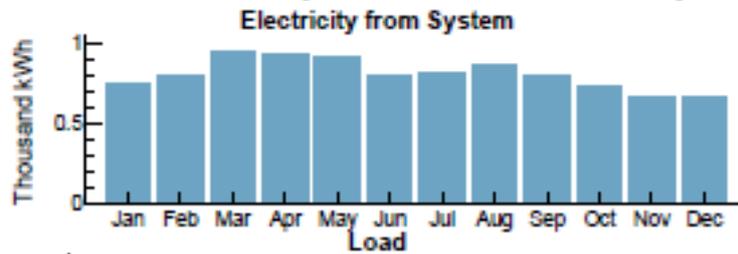
Performance Model		Financial Model	
System Advisor Model Report			
Photovoltaic System Commercial		6.61 kW Nameplate \$1.60/W Installed Cost	La Mesa/Pedro_Sula, HND 15.45 N, -87.93 E GMT -6
Modules		Project Costs	
Canadian Solar CS6U-330P		Total installed cost	\$10,570
Cell material	Multi-o-Si	Salvage value	\$0
Module area	1.93 m ²	Analysis Parameters	
Module capacity	330.34 DC Watts	Project life	25 years
Quantity	20	Inflation rate	5%
Total capacity	6.61 DC kW	Real discount rate	3%
Total area	38 m ²	Project Debt Parameters	
Inverters		Debt fraction	0%
Custom (Inverter Datasheet Model)		Amount	\$0
Unit capacity	5 AC kW	Term	0 years
Input voltage	380 DC V	Rate	0%
Quantity	1	Tax and Insurance Rates	
Total capacity	5 AC kW	Federal income tax	0 %/year
DC to AC Capacity Ratio	1.32	State income tax	0 %/year
AC losses (%)	1.00	Sales tax (% of indirect cost basis)	0%
Array		Insurance (% of installed cost)	0 %/year
Strings	2	Property tax (% of assessed val.)	0 %/year
Modules per string	10	Incentives	
String voltage (DC V)	372.00	None	
Tilt (deg from horizontal)	15.00	Electricity Demand and Rate Summary	
Azimuth (deg E of N)	180	Annual peak demand	8.9 kW
Tracking	no	Annual total demand	56,112 kWh
Backtracking	-	TARIFA EEH	
Self shading	no	1 TIME USE	
Rotation limit (deg)	-	Fixed charge:	\$90/month
Shading	no	Hourly (subhourly) excess	credited in current month
Snow	no	Flat energy buy rate:	\$0.197/kWh
Soiling	yes	Flat energy sell rate:	\$0/kWh
DC losses (%)	4.44	Results	
Performance Adjustments		Nominal LCOE	10.9 cents/kWh
Availability/Curtailment	none	Net present value	\$18,900
Degradation	0.7 %/yr	Payback period	5.1 years
Hourly or custom losses	none	Annual Results (In Year 1)	
Annual Results (In Year 1)		GHI kWh/m ² /day	nan
POA kWh/m ² /day	4.00	Net to inverter	10,010 DC kWh
Net to grid	9,700 AC kWh	Capacity factor	16.8
Performance ratio	0.79	Performance ratio	0.79

Ilustración 31. Hoja 1 de simulación.

Fuente: (System Advisor Model (SAM), 2019)

Photovoltaic System 6.61 kW Nameplate La_Mesa/Pedro_Sula, HND
 Commercial \$1.60/W Installed Cost 15.45 N, -87.93 E GMT -8

Year 1 Monthly Generation and Load Summary



Year 1 Monthly Electric Bill and Savings (\$)

Month	Without System	With System	Savings
Jan	1,003	854	149
Feb	1,015	858	156
Mar	1,001	813	188
Apr	1,031	847	183
May	962	783	179
Jun	976	818	158
Jul	1,036	874	161
Aug	984	814	169
Sep	1,040	883	156
Oct	1,020	876	144
Nov	1,033	901	132
Dec	1,026	894	131
Annual	12,134	10,221	1,912

NPV Approximation using Annuities

Annuities, Capital Recovery Factor (CRF) = 0.0949		
Investment	\$-1,000	Sum:
Expenses	\$0	\$1,700
Savings	\$0	NPV = Sum / CRF:
Energy value	\$2,700	\$18,000

Investment = Installed Cost - Debt Principal - IBI - CBI
 Expenses = Operating Costs + Debt Payments
 Savings = Tax Deductions + PBI
 Energy value = Tax Adjusted Net Savings
 Nominal discount rate = 8.15%

Payback Cash Flow (Payback Period = 5.1 years)

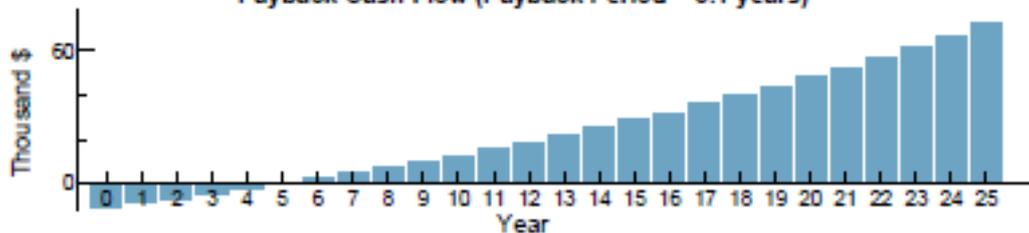


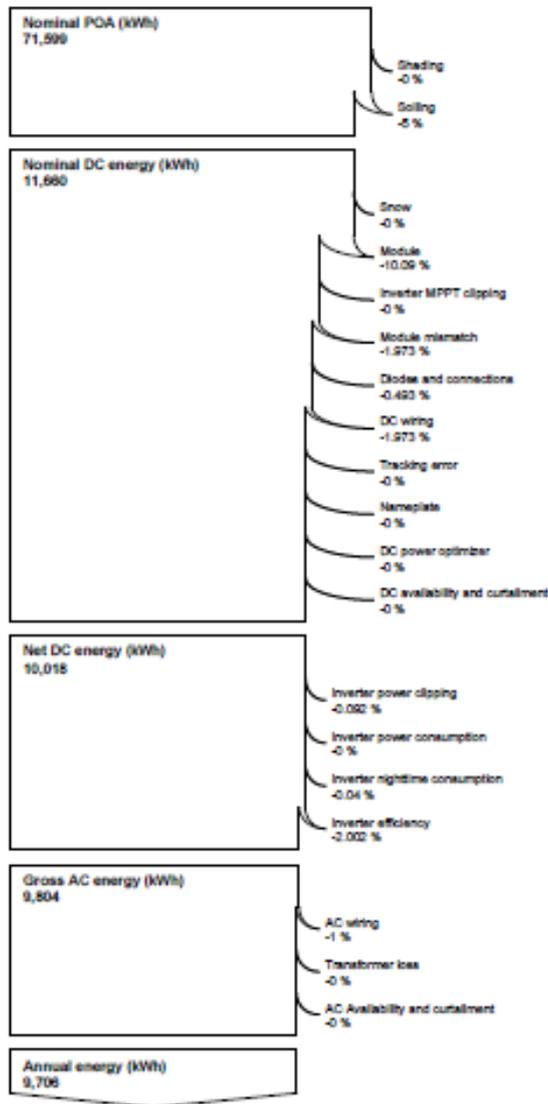
Ilustración 32. Hoja 2 de simulación.

Fuente: (System Advisor Model (SAM), 2019)

Photovoltaic System
Commercial

6.61 kW Nameplate
\$1.60/W Installed Cost

La_Mesa/Pedro_Sula, HND
15.45 N, -87.93 E GMT -6



Commercial | Flat Plate PV | Simple Efficiency Module Model | Sandia Inverter Database
System Advisor Model (SAM) Report generated by SAM 2017 R 2, on Sun Mar 11 16:45:42 2019

2 / 2

Ilustración 33. Hoja 3 de simulación.

Fuente: (System Advisor Model (SAM), 2019)

ANEXO II. FICHA TÉCNICA DE MÓDULO FOTOVOLTAICO



NEW

**New Cell Technology
with 5 Busbar**





MAXPOWER

CS6U-315 | 320 | 325 | 330P

Canadian Solar's new MaxPower poly modules use the latest innovative five busbar cell technology, increasing module power output and system reliability.

KEY FEATURES

-  Enhanced reliability with new 5 busbar cell technology
-  Cell efficiency of up to 18.8 %
-  Outstanding low irradiance performance: 96 %
-  IP67 junction box for long-term weather endurance
-  Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 2400 Pa

25
years

linear power output warranty

10
years

product warranty on materials and workmanship

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2008 / Quality management system
ISO/TS 16949:2009 / The automotive industry quality management system
ISO 14001:2004 / Standards for environmental management system
OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE
UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE / Take-away







* As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

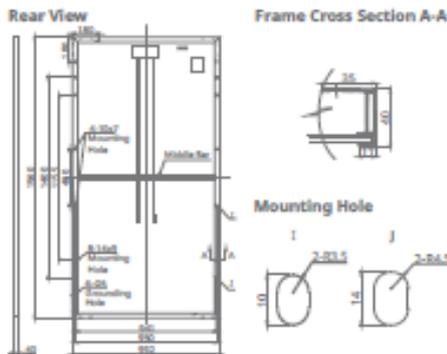
CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 15 GW deployed around the world since 2001, Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) is one of the most bankable solar companies worldwide.

CANADIAN SOLAR INC.
2430 Camino Ramon, Suite 240 San Ramon, CA, USA 94583-4385, www.canadiansolar.com, sales.us@canadiansolar.com

Ilustración 34. Hoja 1 de ficha técnica de módulo fotovoltaico.

Fuente: (Canadian Solar, 2019)

ENGINEERING DRAWING (mm)



ELECTRICAL DATA / STC*

CS6U	315P	320P	325P	330P
Nominal Max. Power (Pmax)	315 W	320 W	325 W	330 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	36.6 V	36.8 V	37.0 V	37.2 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.61 A	8.69 A	8.78 A	8.88 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45.1 V	45.3 V	45.5 V	45.6 V
Short Circuit Current (Isc)	9.18 A	9.26 A	9.34 A	9.45 A
Module Efficiency	16.20 %	16.46 %	16.72 %	16.97 %
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C			
Max. System Voltage	1000 V (IEC) or 1000 V (UL)			
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)			
Max. Series Fuse Rating	15 A			
Application Classification	Class A			
Power Tolerance	0 ~ + 5 W			

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

ELECTRICAL DATA / NOCT*

CS6U	315P	320P	325P	330P
Nominal Max. Power (Pmax)	228 W	232 W	236 W	239 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	33.4 V	33.6 V	33.7 V	33.9 V
Opt. Operating Current (Imp)	6.84 A	6.91 A	6.98 A	7.05 A
Open Circuit Voltage (Voc)	41.5 V	41.6 V	41.8 V	41.9 V
Short Circuit Current (Isc)	7.44 A	7.50 A	7.57 A	7.66 A

* Under Nominal Operating Cell Temperature (NOCT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

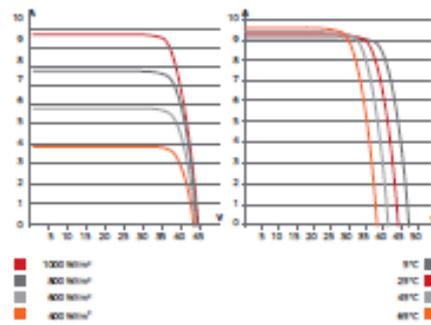
PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Outstanding performance at low irradiance, average relative efficiency of 96 % from an irradiance of 1000 W/m² to 200 W/m² (AM 1.5, 25°C).

The specification and key features described in this datasheet may deviate slightly and are not guaranteed. Due to on-going innovation, research and product enhancement, Canadian Solar Inc. reserves the right to make any adjustment to the information described herein at any time without notice. Please always obtain the most recent version of the datasheet which shall be duly incorporated into the binding contract made by the parties governing all transactions related to the purchase and sale of the products described herein.

Caution: For professional use only. The installation and handling of PV modules require professional skills and should only be performed by qualified professionals. Please read the safety and installation instructions before using the modules.

CS6U-320P / I-V CURVES



MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 Inch
Cell Arrangement	72 (6 × 12)
Dimensions	1960 × 992 × 40 mm (77.2 × 39.1 × 1.57 in)
Weight	22.4 kg (49.4 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminum alloy
J-Box	IP67, 3 diodes
Cable	4 mm ² (IEC) or 4 mm ² & 12 AWG 1000V (UL), 1160 mm (45.7 in)
Connectors	T4 (IEC / UL)
Per Pallet	26 pieces
Per container (40' HQ)	572 pieces

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.41 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.31 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.053 % / °C
Nominal Operating Cell Temperature	45±2 °C

PARTNER SECTION

Blue Pacific Solar™
www.BluePacificSolar.com

CANADIAN SOLAR INC. July 2016. All rights reserved, PV Module Product Datasheet V5.51P1_NA

Ilustración 35. Hoja 2 de ficha técnica de módulo fotovoltaico

Fuente: (Canadian Solar, 2019)

ANEXO III. FICHA TÉCNICA DE INVERSOR

Smart Energy Center



if **reddot award 2016**
winner

Higher Revenue

- High efficiency inverter topology
- Max. efficiency 98.0%
- European weighted efficiency 96.0%

Simple & Easy

- 10.8kg, allows one person simple installation
- Optimized AC connector for quick wiring
- Supports one-click inverter configuration

Battery Ready

- Integrated Plug & Play energy storage interface

Safe & Reliable

- IP65, natural convection
- Integrated lightning protection for both DC and AC
- Zero export function with smart power sensor

Ilustración 36. Hoja 1 de ficha técnica de inversor

Fuente:(Fusion Home Huawei, 2019)

SUN2000L-2/3/3.68/4/4.6/5KTL



Technical Specification	SUN2000L-2KTL	SUN2000L-3KTL	SUN2000L-3.68KTL	SUN2000L-4KTL	SUN2000L-4.6KTL	SUN2000L-5KTL
Efficiency						
Max. efficiency	98.4 %	98.5 %	98.5 %	98.6 %	98.6 %	98.6 %
European weighted efficiency	97.0 %	97.6 %	97.6 %	97.9 %	98.0 %	98.0 %
Input						
Recommended max. PV power	3,000 Wp	4,500 Wp	5,520 Wp	6,000 Wp	6,900 Wp	7,500 Wp
Max. input voltage	600 V / 495 V ¹					
Operating voltage range ¹	90 V- 600 V / 90 V- 495 V ¹					
Start-up voltage	120 V					
Full power MPPT voltage range	120 V - 480 V	150 V - 480 V	190 V - 480 V	210 V - 480 V	250 V - 480 V	250 V - 480 V
Rated input voltage	380 V					
Max. input current per MPPT	11 A					
Max. short-circuit current	15 A					
Number of MPPT trackers	2					
Max. number of inputs per MPPT	1					
Output						
Grid connection	Single phase					
Rated output power	2,000 W	3,000 W	3,680 W	4,000 W	4,600 W	5,000 W ²
Max. apparent power	2,200 VA	3,300 VA	3,680 VA	4,400 VA	5,000 VA ³	5,500 VA ⁴
Rated output voltage	220 V / 230 V / 240 V					
Rated AC grid frequency	50 Hz / 60 Hz					
Max. output current	10 A	15 A	16 A	20 A	23 A ⁵	25 A ⁶
Adjustable power factor	0.8 leading ... 0.8 lagging					
Max. total harmonic distortion	≤ 3 %					
Protection						
Anti-islanding protection	Yes					
DC reverse polarity protection	Yes					
Insulation monitoring	Yes					
DC lightning protection	Yes					
AC lightning protection	Yes					
Residual current monitoring	Yes					
AC overcurrent protection	Yes					
AC short-circuit protection	Yes					
AC overvoltage protection	Yes					
Over-heat protection	Yes					
General Data						
Operating temperature range	-30 ~ +60 °C (Derating above 45°C @ Rated output power)					
Relative operating humidity	0 %RH ~ 100 %RH					
Operating altitude	0 - 4,000 m (Derating above 2,000 m)					
Cooling	Natural convection					
Display	LED indicators					
Communication	RS485, WLAN					
Weight (incl. mounting bracket)	10.6 kg (23.4 lb)					
Dimension (incl. mounting bracket)	375 * 375 * 161.5 mm (14.8 * 14.8 * 6.4 inch)					
Degree of protection	IP65					

Ilustración 37. Hoja 2 de ficha técnica de inversor

Fuente:(Fusion Home Huawei, 2019)