



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**ANÁLISIS TECNO-ECONÓMICO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO FLOTANTE PARA
DIVERSIFICAR LA MATRIZ ENERGÉTICA Y MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LA ENERGÍA
ELÉCTRICA EN LA ISLA DE GUANAJA, HONDURAS.**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO:

INGENIERO EN ENERGÍA

PRESENTADO POR:

21811335

JONATHAN OBED PAGUADA GUILLEN

ASESOR: HÉCTOR FERNANDO VILLATORO FLORES

CAMPUS: SAN PEDRO SULA;

OCTUBRE, 2020

"Si buscas resultados distintos, no hagas siempre lo mismo"

-Thomas A. Edison

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer primeramente a Dios que me ha permitido culminar con éxitos mis estudios universitarios. También quiero agradecer a mis padres por todo el sacrificio que hicieron, sé que no fue nada fácil haber llegado hasta aquí.

A mi padrino Franz Wegerer le agradezco mucho por todo lo que me ha dado, por el apoyo, por cada consejo y porque siempre ha estado ahí para animarme y a seguir adelante, es un gran ejemplo para mi vida y lo que he logrado ser hasta hoy ha sido gracias a él.

A mi asesor, Ing. Héctor Villatoro por su paciencia, valiosa dirección y apoyo para realizar este trabajo. A todos mis maestros que ayudaron a mi formación profesional y que aportaron un granito de conocimiento a lo largo de mi carrera universitaria: Ing. Vielka Barahona, Ing. Franklin Reyes, Ing. Alicia Reyes, Ing. Claudia Paz.

Mi más sincero agradecimiento a mis compañeros de clase y amigos, que me brindaron su ayuda y que me animaron a seguir adelante.

A todos ustedes mi más sincero agradecimiento.

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado a mi padrino y a mis padres, quienes siempre me apoyaron y me
guiaron por el camino correcto.

RESUMEN

Actualmente, Guanaja sólo cuenta con un sistema privado de generación, transmisión y distribución de electricidad. Guanaja es una isla a 50 kilómetros de la costa hondureña, lo que dificulta la interconexión con el Sistema Interconectado Nacional para la adquisición de electricidad. Debido a esta dependencia y al hecho de que la isla tiene extensas áreas de agua, se decidió realizar un estudio de un sistema fotovoltaico flotante. El propósito de esta investigación es llevar a cabo un análisis tecno-económico para evaluar la factibilidad de un sistema fotovoltaico flotante, que diversificaría la matriz energética y mejoraría la disponibilidad de electricidad en la isla. La investigación permitió determinar la demanda media de electricidad, el área y los puntos de conexión donde se instalará el sistema, su diseño y, a partir de la generación de electricidad, los resultados del costo nivelado de la electricidad (LCOE), la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN). Esta investigación se desarrolló mediante la aplicación de una metodología con un enfoque cuantitativo, utilizando la recopilación de datos, basada en la medición numérica y el análisis estadístico de los resultados. La potencia de DC, la potencia de AC, la irradiancia y la temperatura se designaron como variables independientes, mientras que, la energía, el LCOE, la TIR y el VAN son variables dependientes. Teniendo en cuenta la generación de energía del sistema fotovoltaico flotante a partir de las simulaciones realizadas en PVSyst, los valores de LCOE, TIR y VAN demuestran la viabilidad tecno-económica del proyecto.

Palabras clave: sistema fotovoltaico flotante, matriz energética, energía eléctrica, Guanaja.

ABSTRACT

Currently, Guanaja only has a private system of electricity generation, transmission and distribution. Guanaja is an island 50 kilometers off the Honduran coast, which makes it difficult to interconnect with the National Interconnected System for the acquisition of electricity. Due to this dependence and the fact that the island has extensive areas of water, it was decided to carry out a study of a floating photovoltaic system. The purpose of this research is to carry out a techno-economic analysis to evaluate the feasibility of a floating photovoltaic system, which would diversify the energy matrix and improve the availability of electricity on the island. The research allowed to determine the average electricity demand, the area and connection points where the system would be installed, its design and, from the electricity generation, the results of the leveled cost of electricity (LCOE), the internal rate of return (IRR) and the net present value (NPV). This research was developed by applying a methodology with a quantitative approach, using data collection, based on numerical measurement and statistical analysis of results. DC power, AC power, irradiance and temperature were designated as independent variables, while energy, LCOE, IRR and NPV are dependent variables. Taking into account the power generation of the floating PV system from the simulations performed in PVSyst, the LCOE, IRR and NPV values demonstrate the techno-economic feasibility of the project.

Keywords: floating photovoltaic system, energy matrix, electric energy, Guanaja.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. Introducción.....	19
II. Planteamiento del Problema	21
2.1 Precedentes del Problema.....	25
2.2 Definición del Problema	26
2.3 Justificación.....	26
2.4 Preguntas de Investigación.....	27
2.5 Objetivos.....	28
2.5.1 OBJETIVO GENERAL	28
2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	28
III. Marco Teórico.....	29
3.1 Análisis de la Situación Actual.....	29
3.1.1 Sistemas fotovoltaicos flotantes	29
3.2 Teorías del Sustento	33
3.2.1 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	33
3.2.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	34
3.2.3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS SEGÚN EL LUGAR DE INSTALACIÓN.....	36
3.2.4 COMPONENTES DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO FLOTANTE	38
3.3 Conceptualización de Variables de Investigación.....	39
3.3.1 PARÁMETROS TÉCNICOS DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	39
3.3.2 PARÁMETROS FINANCIEROS DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	40
IV. Metodología	43
4.1 Enfoque	43

4.2 Variables de Investigación.....	43
4.2.1 VARIABLES INDEPENDIENTES	44
4.2.2 VARIABLES DEPENDIENTES.....	44
4.3 Hipótesis	45
4.4. Técnicas e Instrumentos Aplicados	45
4.4.2 INSTRUMENTOS APLICADOS	45
4.5 Población y Muestra	46
4.6 Metodología de Estudio.....	47
4.6.1 BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN.....	48
4.6.2 DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA	48
4.6.3 SITIO APROPIADO PARA LA EJECUCIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	49
4.6.4 DISEÑO DE LA PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA FLOTANTE	49
4.6.5 SIMULACIONES EN PVSYSY.....	54
4.6.6 ANÁLISIS TECNO-ECONÓMICO	54
4.7 Cronograma de Actividades	56
V. Resultados y Análisis.....	57
5.1 DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	57
5.2 SITIO APROPIADO PARA LA EJECUCIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	57
5.2.1 Área	58
5.2.2 puntos de conexión a la red.....	59
5.3 DISEÑO DE LA PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA FLOTANTE	60
5.3.1 Modulo flotante.....	60
5.3.2 Sistema de anclaje.....	63

5.3.3 Capacidad nominal ac	63
5.3.4..... Ratio dc/ac	
.....	63
5.3.5..... Capacidad nominal dc	
.....	64
5.3.6.....Irradiación y Temperatura Anual	
.....	64
5.3.7 Módulos.....	65
5.3.8 Inversores	67
5.4.8 Configuración del sistema fotovoltaico flotante.....	69
5.4.9 Transformador.....	71
5.4.10 Cableado	72
5.4.11 Resumen del diseño del sistema.....	72
5.4 SIMULACIONES EN PVSYSY Y HELIOSCOPE.....	73
5.5 ANÁLISIS TECNO-ECONÓMICO	75
5.6.1 Costo de capital	75
5.6.2 Variables de entrada	76
5.6.3 Análisis económico sin financiamiento	77
5.6.4 Análisis económico con financiamiento.....	78
VI. Conclusiones	78
VII. Recomendaciones	80
VIII. Limitantes de la Investigación.....	81

IX. Aplicabilidad/Implementación	82
X. Evolución De Trabajo Actual / Trabajo Futuro	83
Bibliografía	84
Anexos... ..	91
Anexo 1-Especificaciones Técnicas de los Módulos Solares.....	91
Anexo 2-Especificaciones Técnicas de los Inversores.....	93
Anexo 3-Resumen de Reporte PVsyst.....	95

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Producción mundial de electricidad por tecnología (1973 – 2013)	21
Ilustración 2. Nuevas capacidades instaladas de energía renovable por tecnología en el mundo (2014 - 2018)	22
Ilustración 3. Evolución de la Generación de Electricidad en Honduras por Tecnología	23
Ilustración 4. Porcentaje del tamaño de las plantas FV flotantes en el mundo	24
Ilustración 5. Capacidad anual mundial instalada en sistemas fotovoltaicos flotantes	24
Ilustración 6. Distribución del alumbrado en Guanaja	27
Ilustración 7. Esquema de un sistema solar fotovoltaico flotante	29
Ilustración 8. Representación esquemática de un sistema fotovoltaico flotante típico a gran escala	30
Ilustración 9. Planta fotovoltaica flotante de la ciudad de Huainan	31
Ilustración 10. Planta fotovoltaica flotante de Umenoki	32
Ilustración 11. Planta fotovoltaica flotante Queen Elisabeth II Reservoir	33
Ilustración 12. Componentes básicos de una instalación fotovoltaica	34
Ilustración 13. Esquema general de una instalación fotovoltaica aislada	35
Ilustración 14. Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a la red	36
Ilustración 15. Sistema fotovoltaico típico sobre techo	37
Ilustración 16. Sistema fotovoltaico típico sobre suelo	37
Ilustración 17. Dimensión de las variables independientes	44
Ilustración 18. Mapa de Guanaja, Islas de la Bahía	47
Ilustración 19. Esquema de desarrollo de la metodología de estudio	48
Ilustración 20. Perfil de carga diaria del 2015	25

Ilustración 21. Mapa forestal y de cobertura de la tierra de Guanaja	58
Ilustración 22. Ubicación del lugar para la instalación del sistema	59
Ilustración 23. Distribución de las líneas de alta tensión en Guanaja.....	60
Ilustración 24. Sistema fotovoltaico flotante instalado por en Ciel y Terre con sistema Hydrelío en Japón	61
Ilustración 25. Esquema de flotador HYDRELIO CLASSIC	62
Ilustración 26. Sistema de anclaje para el sistema fotovoltaico	63
Ilustración 27. Producción anual promedio en función del Ratio DC/AC.....	64
Ilustración 28. Dimensiones del módulo Canadian Solar [mm].....	67
Ilustración 29. Inversores Schneider Electric	68
Ilustración 30. Vista de planta de sistema fotovoltaico flotante con sistema Ciel & Terre.	71
Ilustración 31. Conductor TOPSOLAR PV H1Z2Z2-K.....	72
Ilustración 32. Gráfica de generación de energía anual para el sistema analizado	74
Ilustración 33. Curva de generación de energía eléctrica del sistema.....	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Las 10 plantas fotovoltaicas flotantes más grandes del mundo, 2017	31
Tabla 2. Cronograma de Actividades.....	56
Tabla 3. Previsión de la evolución de la carga de Guanaja	57
Tabla 4. Irradiación y temperatura anual.....	64
Tabla 5. Datos eléctricos bajo normas STC.....	66
Tabla 6. Especificaciones eléctricas de inversor GT500.....	68
Tabla 7. Especificaciones generales del inversor Schneider Electric.....	69
Tabla 8. Configuración del sistema fotovoltaico flotante.....	70
Tabla 9. Resumen de resultados sobre el diseño del sistema flotante.....	72
Tabla 10. Generación de energía anual	73
Tabla 11. Resumen de resultados de PVsyst.....	74
Tabla 12. Desglose de la inversión inicial.....	76
Tabla 13. Desglose de las variables de entrada.....	77
Tabla 14. Resultados del análisis económico sin financiamiento.....	77
Tabla 15. Resultados del análisis económico con financiamiento.....	78

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Costo nivelado de la electricidad	41
Ecuación 2. Valor actual neto	41
Ecuación 3. Tasa interna de retorno.....	42
Ecuación 4. Capacidad nominal del sistema fotovoltaico.....	51
Ecuación 5. Número de módulos para el sistema fotovoltaico	51
Ecuación 6. Número de inversores para el sistema fotovoltaico.....	51
Ecuación 7. Ajuste del voltaje por temperatura del módulo	52
Ecuación 8. Número mínimo de módulos en serie del sistema.....	52
Ecuación 9. Ajuste del voltaje máximo por temperatura	53
Ecuación 10. Número máximo de módulos en serie.....	53
Ecuación 11. Máximo y mínimo de cadenas del sistema.....	53
Ecuación 12. Capacidad del transformador para el sistema	54

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1-Especificaciones Técnicas de los Módulos Solares.....	91
Anexo 2-Especificaciones Técnicas de los Inversores	93
Anexo 3-Resumen de Reporte PVsyst.....	95

LISTA DE SIGLAS

AC	Energía alterna
BELCO	Bonnaca Electric Company
BID	Banco Mundial de Desarrollo
DC	Energía directa o continua
ENEE	Empresa Nacional de Energía Eléctrica
GEI	Emisiones de gases de efecto invernadero
HDPE	Polietileno de alta densidad
IRENA	Agencia internacional de energías Renovables
INE	Instituto Nacional de Estadística de Honduras
LCOE	Levelized Cost Of Electricity (Costo nivelado de electricidad)
O & M	Operación y Mantenimiento
QGIS	Sistema de información geográfica
TIR	Tasa de retorno de la inversión
PEAD	Polietileno expandido de alta densidad
PR	Factor de pérdidas
SIN	Sistema interconectado nacional
VAN	Valor actual neto

I. INTRODUCCIÓN

Para el 2018, Honduras mantenía aproximadamente un 81% de cobertura en energía eléctrica a nivel nacional, el otro 19% representa al resto de la población que no tiene acceso al servicio eléctrico. Del 81% de cobertura nacional, el 3.4 % es cubierta por empresas privadas de generación de energía, que abastecen parte de la población y que no forman parte del SIN; a estos sistemas se les denomina, sistemas aislados. Islas de la bahía, en especial Guanaja, cuenta con un sistema eléctrico privado dirigido por la empresa Bonnaca Electrical Company (BELCO). La empresa BELCO cuenta con más de 8,456 clientes y se encarga de suministrar más del 78% de la demanda de energía eléctrica. (Urbina, 2018)

Se han realizado múltiples estudios en todo el mundo sobre sistemas fotovoltaicos flotantes. Sáez et al., (2017), realizaron un estudio de prefactibilidad sobre sistemas fotovoltaicos flotantes en Chile. (SERIS, 2018a)) en conjunto con el Banco Mundial (World Bank Group), realizaron un estudio sobre el mercado solar flotante, en el que analizan el desarrollo de los sistemas fotovoltaicos flotantes. En Colombia, (Isaza, 2010) analizó la conexión de sistemas fotovoltaicos flotante a la red eléctrica. Por otra parte, en Cartagena, Alcántara (2018), realizó un estudio tecno-económico en un embalse de la República Dominicana con una potencia de 1 MW. Arroyo & Marruedo (2018), analizaron el diseño de una instalación fotovoltaica flotante para balsas de regadío. Además en el 2016, FICHTNER realizó un estudio de un sistema híbrido para Guanaja, en el que incluía un sistema solar con generación térmica.

Similar a los estudios previamente mencionadas este artículo también se enfoca en realizar un análisis tecno-económico de un sistema fotovoltaico flotante para diversificar la matriz energética y mejorar la disponibilidad de la energía eléctrica en la isla de Guanaja. Se analizará la viabilidad del sistema fotovoltaico flotante como una opción para la generación de energía eléctrica renovable en zonas cubiertas por agua.

El principal propósito del desarrollo de esta investigación es facilitar la toma de decisiones sobre la implementación de sistemas fotovoltaicos flotantes a partir del LCOE, TIR, y VAN. Ya que en la

actualidad no hay un estudio para la isla de Guanaja, que demuestre la viabilidad de los sistemas fotovoltaicos flotantes.

El informe el cual estará compuesto de nueve secciones. La primera sección servirá como introducción a la investigación, en la segunda sección el lector podrá ver el planteamiento del problema en donde se definen los objetivos del proyecto, el problema de investigación, y se plantearán las preguntas claves que abordará este informe de proyecto. La tercera sección abarcará todo el marco teórico, que incluye la información esencial que servirá como sustento del trabajo realizado. La cuarta sección definirá la metodología de trabajo utilizada junto con las variables, técnicas y softwares que fueron indispensables para la realización del proyecto. Los resultados y análisis componen la quinta sección, aquí se presentarán los hallazgos de la investigación y se interpretarán los resultados obtenidos. Luego en la sexta sección están las conclusiones, esta sección se relacionará directamente con los objetivos y preguntas de investigación. Seguidamente se encuentra la séptima sección en donde están las recomendaciones, éstas irán en la misma ruta de las conclusiones. Aplicabilidad/ Implementación, en esta sección se determinará la aplicabilidad de cada tipo de sistema fotovoltaico, en función del análisis tecno-económico. Evolución de trabajo actual/ trabajo futuro, esta será la última sección de este informe y presentará ideas sobre una segunda etapa de esta investigación.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A medida que pasa el tiempo la generación de energía eléctrica a través de sistemas renovables va incrementando, ya sea por la escasez o el costo de producción de energía por medio de los fluidos derivados del petróleo, por la fluctuación del precio del petróleo en el mercado o por la alta contaminación del medio ambiente. La Ilustración 1 muestra el avance de la generación de energía eléctrica producida comparando distintas tecnologías. Se puede observar que para el 2013, la generación de energía eléctrica a partir del carbón lidera con aproximadamente los 10,000 TWh y que las tecnologías renovables prosiguen a las de carbón, manteniendo cerca de los 6,000 TWh de energía eléctrica producida.

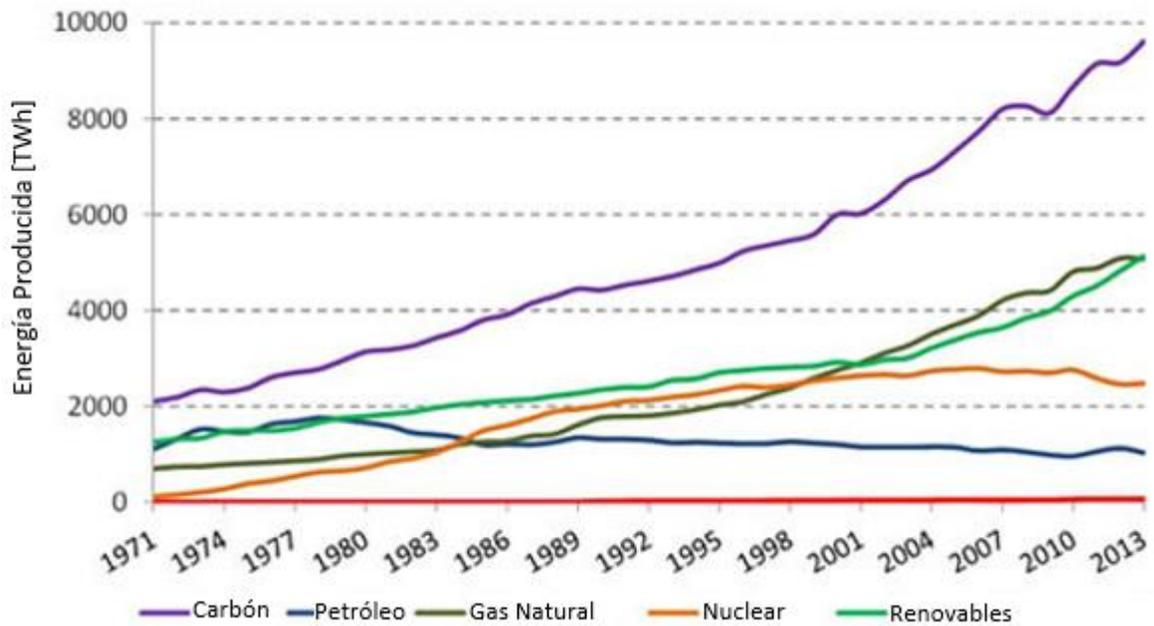


Ilustración 1. Producción mundial de electricidad por tecnología (1973 – 2013)

Fuente: (SMARTGRIDSINFO, 2015)

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que se genera en la producción de energía eléctrica han contribuido considerablemente al aumento de las concentraciones de los gases en la atmósfera. Los datos obtenidos por estudios realizados, confirman que el consumo de combustibles de origen fósil en la generación de energía eléctrica, representa la mayor parte de las emisiones mundiales de GEI de origen antropogénico y que representan un 39% por encima

de los niveles que se emiten en niveles preindustriales. Hay numerosas opciones para reducir las emisiones de GEI del sistema energético, sin dejar de cubrir la demanda mundial de servicios energéticos. (IPCC, 2011)

Las energías renovables contribuyen a cubrir la demanda de energía eléctrica, a diversificar las fuentes de generación de energía eléctrica en un sistema y a la reducción de gases de efecto invernadero (GEI), que son expuestos a la atmósfera y que provocan grandes daños al medio ambiente. Los sistemas de energía renovables cada año van logrando un mayor desarrollo principalmente la energía solar fotovoltaica. Según IRENA (2020), la potencia instalada en energía solar entre el 2014 y 2018 a nivel mundial abarcó más de 400 MW, lo que representa una potencia instalada 45% mayor en comparación a otras tecnologías renovables como ser: la hídrica, eólica y la bioenergía (ver Ilustración 2).

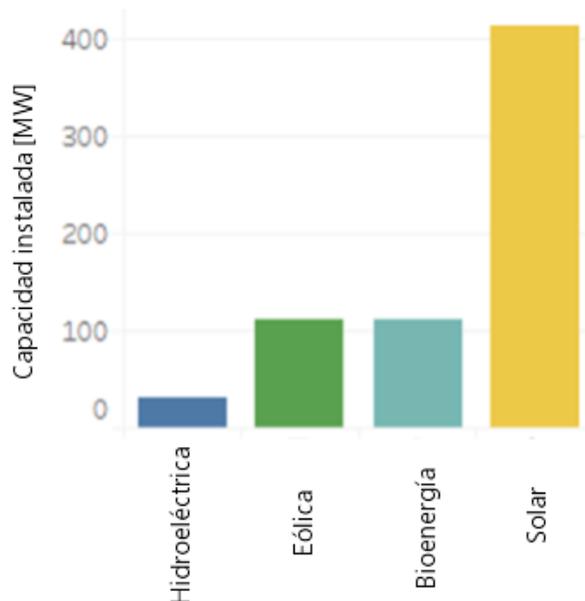


Ilustración 2. Nuevas capacidades instaladas de energía renovable por tecnología en el mundo (2014 - 2018)

Fuente: (IRENA, 2020)

En la Ilustración 3, se muestra la evolución de la generación de electricidad en Honduras. Las energías renovables en Honduras, han generado un gran aporte cubriendo la mayor parte de la

demanda eléctrica, en principal la generación de electricidad por medio del recurso hídrico. Sin embargo, la generación de electricidad con tecnología solar se ha ido desarrollando de forma exponencial, hasta el punto que ahora forma parte esencial de la matriz energética nacional.

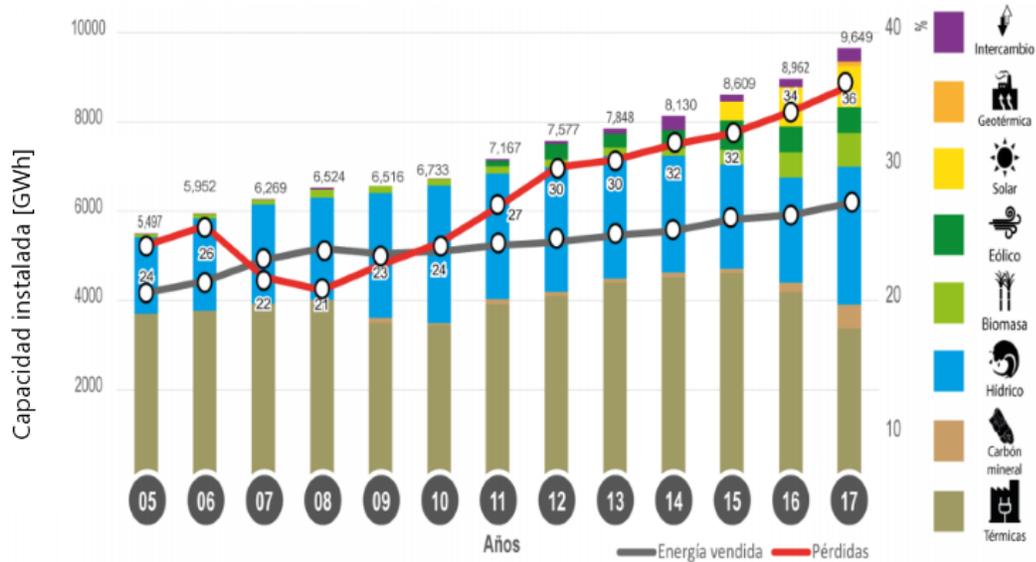


Ilustración 3. Evolución de la Generación de Electricidad en Honduras por Tecnología

Fuente: (Cerna, 2019)

El primer sistema fotovoltaico flotante se construyó en 2007 en Aichi, Japón, seguido de varios otros países, entre ellos España, Francia, Italia, la República de Corea, y Estados Unidos, los cuales a pequeña escala han instalado sistema fotovoltaico flotante para fines de investigación y demostración. La primera instalación que comenzó a comercializar energía eléctrica a través de un sistema flotante fue una de 175 kWp construido en la Bodega Far Niente en California en el 2008. (SERIS, 2018)

Los sistemas fotovoltaicos flotantes han crecido considerablemente, según Menéndez & Marruedo (2018) para el año 2016 se habrían instalado 53.061 MW de potencia a nivel mundial en energía solar fotovoltaica flotante (ver Ilustración 5).

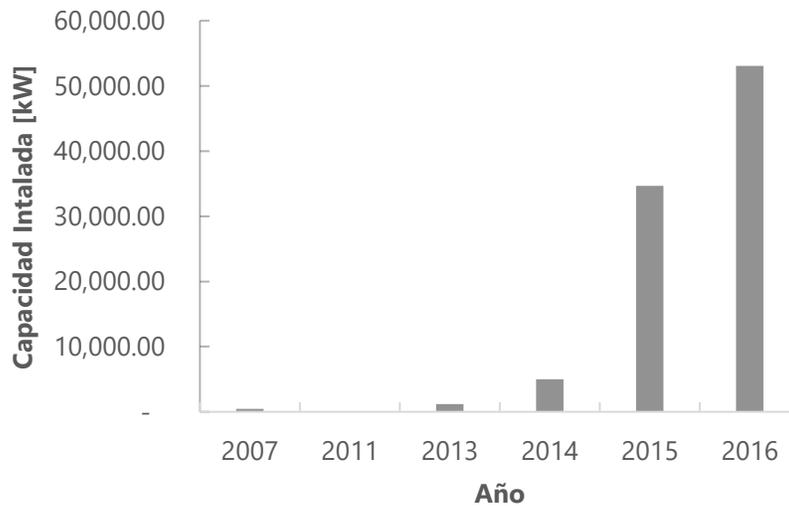


Ilustración 4. Capacidad anual mundial instalada en sistemas fotovoltaicos flotantes

Fuente: (Menéndez & Marruedo, 2018)

Dentro de la producción de energía eléctrica fotovoltaica están los sistemas de producción a través de sistemas con módulos flotantes y sistemas en tierra firme. La Ilustración 4 se presenta un gráfico detallando los porcentajes del tamaño de potencias de las plantas fotovoltaicas flotantes instaladas hasta el 2016 a nivel mundial. El mayor porcentaje de las plantas instaladas se localizan entre los 1000 a 1999 kW de potencia con un 30%.

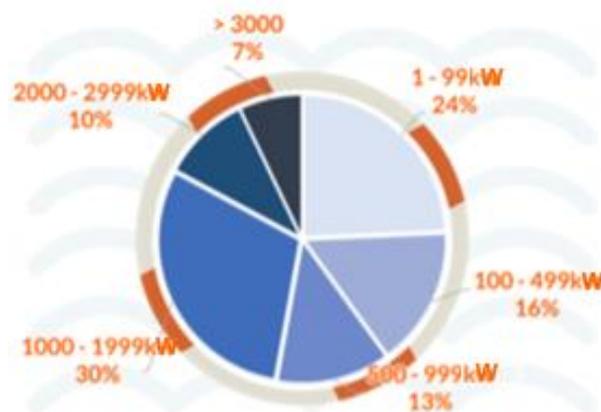


Ilustración 5. Porcentaje del tamaño de las plantas FV flotantes en el mundo

Fuente: (Alcántara, 2018b)

2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA

La red de distribución de 30 km de longitud total de la línea de transmisión funciona a 13.5 kV y a una frecuencia de 60 Hz. Para el 2015, Guanaja contaba con una demanda máxima de 916 kW de potencia, la empresa de servicio eléctrico proporcionaba acceso a la electricidad a aproximadamente 10,000 habitantes en Guanaja, con un factor de potencia de alrededor de 0.95. (FICHTNER, 2016)

En la ilustración 20, se muestran los valores de demanda para los años 2014 y 2015.

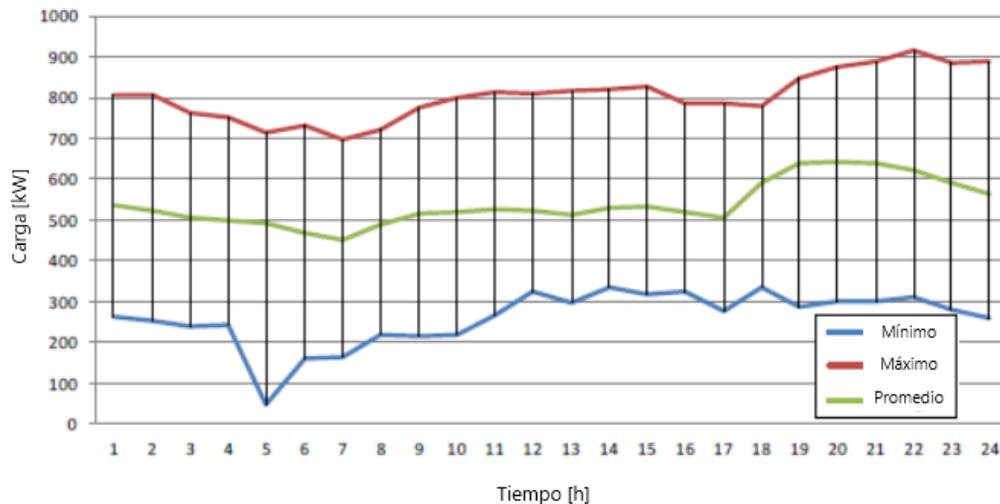


Ilustración 6. Perfil de carga diaria entre el 2014 y 2015

Fuente: (FICHTNER, 2016a)

El Gobierno y la ENEE (Empresa Nacional de Energía Eléctrica) han estado realizando muchos esfuerzos para promover la electrificación del país a través del BID (Banco Mundial de Desarrollo). Sus objetivos apuntan a solucionar las carencias de electricidad, a mejorar la calidad del abastecimiento energético de viviendas y centros comunitarios en el medio rural y social, igualmente, a ampliar la cobertura de la electrificación rural a nivel nacional, fomentando el uso de las energías renovables. Por lo que han propuesto realizar un proyecto de generación de energía eléctrica fotovoltaica de 1 MW de potencia en Guanaja, pero hasta el momento no se ha logrado tal objetivo. (ENEE, 2018)

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente, Guanaja solo cuenta con una empresa generadora, distribuidora y comercializadora de energía eléctrica que pertenece al sector privado denominada BELCO (Bonnaca Electric Company), la cual consta de dos unidades generadoras de 1,200 kW de potencia nominal cada una, para suplir la demanda de energía eléctrica.

Por lo que, el objetivo consiste en realizar un estudio de un sistema fotovoltaico flotante para la generación de energía eléctrica en conjunto con el sistema actual, permitiendo la diversificación en la producción de electricidad y que aumente la disponibilidad del servicio eléctrico, para un desarrollo económico-social sostenible en Guanaja.

2.3 JUSTIFICACIÓN

Según un estudio realizado por la INE (2013), Guanaja tiene una extensión territorial de aproximadamente 50 km², está conformada por 4 aldeas y 46 caseríos, consta de una población de 5,739 personas, el 24.4% de la población se dedica a la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca. Además, es considerada una isla con una alta demanda turística, la primordial fuente de alumbrado en las viviendas es la electricidad proveniente del sistema privado con 78.7%, por lo tanto, contar con un sistema de energía eficiente es de suma importancia. La Ilustración 6 muestra la distribución de energía eléctrica del alumbrado en Guanaja, del 100% de la energía producida para el alumbrado, el 78% proviene del sector privado.

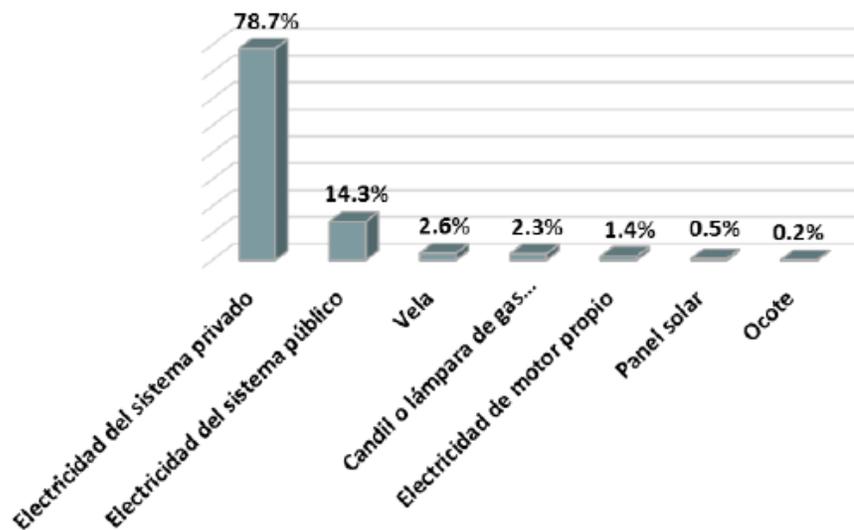


Ilustración 7. Distribución del alumbrado en Guanaja

Fuente: (INE, 2013)

Recientemente los ciudadanos de las principales comunidades y caseríos de Guanaja, protestaron en contra de la empresa de Energía Eléctrica BELCO, porque se realizan cortes de energía sin programación provocando pérdidas económicas debido a los daños en los equipos y por los cobros excesivos en la factura de energía eléctrica que realiza la compañía, tomando en cuenta que algunas de las comunidades solo reciben ocho horas diarias de energía eléctrica. Para el 2018, el precio de la energía eléctrica era de 9.80 lempiras el kilowatt-hora, que se desglosan en; 4.83 lempiras la tarifa y 5.83 lempiras en ajuste de combustible. (Tiempo, 2018)

2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Cuál es la demanda de energía eléctrica de Guanaja?
2. ¿Cuál es el lugar apropiado en función del oleaje, área y puntos de conexión a la red para el sistema solar fotovoltaico flotante?
3. ¿Cuál es el tamaño de una planta solar fotovoltaica flotante que supla la demanda de energía eléctrica de Guanaja?
4. ¿Cuál es la energía eléctrica esperada por la planta solar fotovoltaica flotante en Guanaja?
5. ¿Cuál es el LCOE de la planta solar fotovoltaica flotante en Guanaja?

6. ¿Cuál es el VAN de la planta solar fotovoltaica flotante en Guanaja?
7. ¿Cuál es la TIR de la planta solar fotovoltaica flotante en Guanaja?

2.5 OBJETIVOS

En este apartado se podrá observar a fondo lo que se espera lograr y a dónde se quiere llegar con la realización de este proyecto.

2.5.1 OBJETIVO GENERAL

Efectuar un estudio tecno-económico de un sistema fotovoltaico flotante para diversificar la matriz energética y mejorar la disponibilidad de la energía eléctrica en la Isla de Guanaja, Honduras.

2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Evaluar la demanda pico de energía eléctrica de Guanaja para determinar la dimensión del sistema fotovoltaico flotante.
2. Determinar el lugar para la ejecución del sistema fotovoltaico flotante en función de: oleaje, área y puntos de conexión a la red.
3. Diseñar la planta solar fotovoltaica flotante según la demanda de energía eléctrica a suplir.
4. Simular la producción de energía generada del sistema fotovoltaico flotante en Guanaja, mediante software PVsyst.
5. Realizar un análisis económico del proyecto, calculando las siguientes variables: LCOE, VAN y TIR.

III. MARCO TEÓRICO

La presente sección se centra en describir las investigaciones sobre los sistemas fotovoltaicos flotantes que se han realizado previamente a nivel mundial, de igual forma se centra en entender todos los conceptos técnicos y financieros que se ven involucrados en el entorno de esta investigación, la cual ayudarán a comprender y analizar los resultados obtenidos.

3.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

A través de un análisis de la situación actual se darán a conocer las evoluciones de la energía solar fotovoltaica y cuáles han sido las principales invenciones de las investigaciones sobre los sistemas fotovoltaicos flotantes que se han realizado en otros países.

3.1.1 Sistemas fotovoltaicos flotantes

La generación de energía fotovoltaica flotante desarrollada es el resultado de la combinación de la tecnología de plantas fotovoltaicas y la tecnología flotante. Esta fusión es un nuevo concepto para el progreso de la tecnología. Como tecnología de nueva generación, puede sustituir a las plantas fotovoltaicas existentes que se instalan en la parte superior de bosques, tierras de cultivo y edificios. La planta fotovoltaica flotante consta de un sistema flotante, un sistema de amarre, un sistema fotovoltaico y sistema de conducción y transmisión de la energía eléctrica (ver Ilustración 7). (Lee et al., 2012)

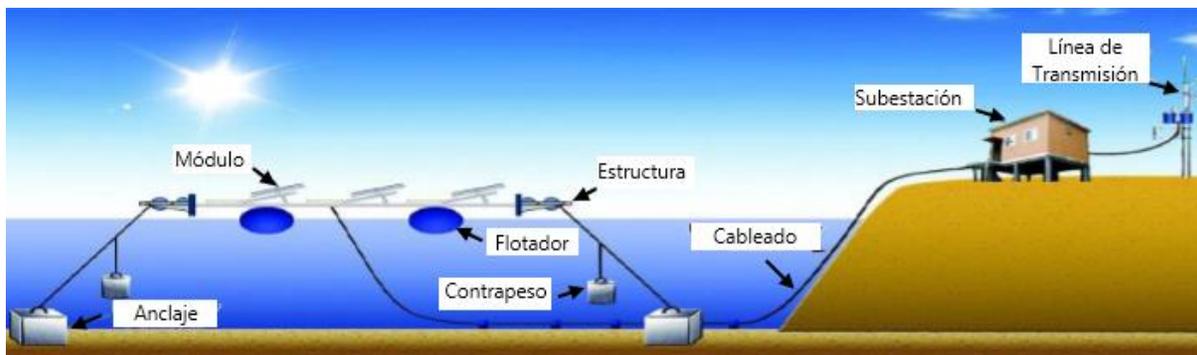


Ilustración 8. Esquema de un sistema solar fotovoltaico flotante

Fuente: (Lee et al., 2012)

La estructura de un sistema fotovoltaico flotante es similar al de un sistema fotovoltaico terrestre, la diferencia radica en que los módulos, los inversores y el sistema de distribución deben ser montados en una plataforma flotante como es mostrado en la Ilustración 8. Para las plantas flotantes de pequeña escala cercanas a la orilla, es posible colocar los inversores en tierra. Por lo demás, tanto en inversores centrales como en inversores de cadenas en un diseño especial se utilizan típicamente flotadores. La plataforma, junto con su sistema de anclaje y amarre, es una parte integral de cualquier instalación fotovoltaica flotante. (SERIS, 2018, p. 2)

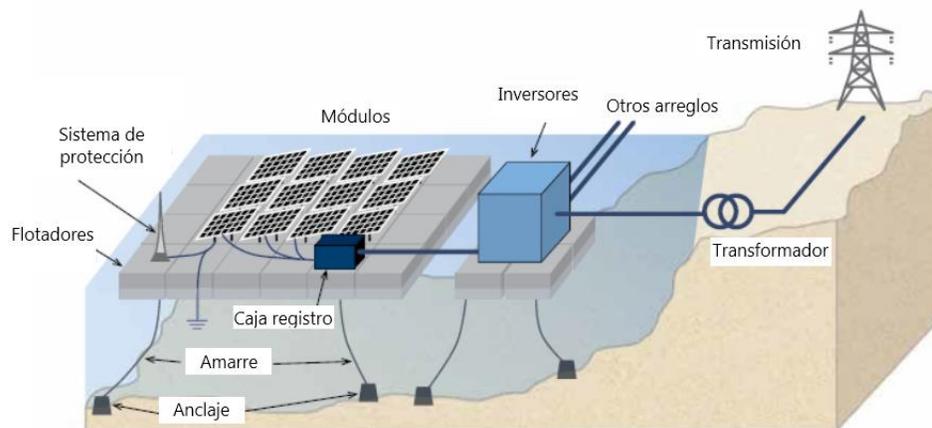


Ilustración 9. Representación esquemática de un sistema fotovoltaico flotante típico a gran escala

Fuente: (SERIS, 2018, p. 2)

PLANTAS FOTOVOLTAICAS FLOTANTES EN EL DEL MUNDO.

En el mundo existen más de 70 sistemas fotovoltaicos flotantes que se han instalado, la primera planta solar flotante se instaló en el 2007, en California. La potencia instalada en sistemas flotantes es menor en comparación a los sistemas en superficie, sin embargo, 12 de las 70 plantas superan los 2 MWp, el resto fluctúa entre 1 y 2 MWp. La planta más grande tiene una capacidad de 40 MWp, pero se abrió con solo 20 MWp, está ubicada en la provincia de Anhui en China. La segunda planta más grande es la de 7.5 MWp Kawashima Taiyou Solarpark, ubicada en Japón. La tercera planta solar flotante más grande con 6.33 MW de potencia está ubicada en el Reino Unido, Queen Elisabeth II Reservoir (ver Tabla 1). (SolarPlaza, 2016)

Tabla 1. Las 10 plantas fotovoltaicas flotantes más grandes del mundo, 2017

Nº	MW	Nombre del embalse/lago/planta	País	Ciudad/Provincia	En operación
1	20	Coal mining subsidence area of Huainan City	China	Anhui	Abril, 2016
2	7,5	Umenoki Solarpark	Japón	Saitama	Octubre, 2015
3	6,33	Queen Elizabeth II reservoir	Reino Unido	London	Marzo, 2016
4	3	Otae Province	Corea Sur	Sangju City Gyeongsang Bukdo	Octubre, 2015
5	3	Jipyong Province	Corea Sur	Sangju City Gyeongsang Bukdo	Octubre, 2015
6	2,9	Godley Reservoir Floating Solar PV	Reino Unido	Godley	Enero, 2016
7	2,8	Kato-Shi	Japón	Takaoka, Hyogo	Marzo 2015
8	2,4	Tsuga Ike	Japón	Mie	Agosto, 2016
9	2,4	Sohara Ike	Japón	Mie	Marzo, 2016
10	2,3	Sakasama Ike	Japón	Hyogo	Abril, 2015

Fuente: (Roca, 2017)

1- PLANTA SOLAR DE HUAINAN, CHINA.

La planta solar flotante ubicada en Huainan, China, tiene una capacidad instalada de 40 MW, pero se conectó por primera vez en el 2017 a la red eléctrica con 20 MW de potencia. La granja solar flotante se encuentra sobre una antigua mina de carbón y tiene la capacidad de abastecer más de 28,000 personas. (Roca, 2017)



Ilustración 10. Planta fotovoltaica flotante de la ciudad de Huainan

Fuente: (Sal&Roca, 2019)

2- PLANTA SOLAR DE UMENOKI, JAPÓN.

La granja solar flotante ubicada Umenoki, Japón, es uno de los sistemas de generación de energía eléctrica flotante más grande de Japón y cuenta con una potencia instalada de 7.750 MWp. La planta solar está instalada sobre una balsa de riego con más de 27,000 módulos solares marca Yingli, abarcando un área aproximadamente de 57% de agua y fue conectada a la red eléctrica en el 2015. (Es energía, 2018)



Ilustración 11. Planta fotovoltaica flotante de Umenoki.

Fuente: (Ciel et Terre, 2018)

3- QUEEN ELISABETH II RESERVOIR. 6.3 MW. REINO UNIDO.

La planta solar flotante Queen Elizabeth II tiene una capacidad de 6.3 MW y está ubicada en Londres. El sistema está compuesto por aproximadamente por 23,046 módulos fotovoltaicos lo cual cubren el 5% de la superficie. La granja solar flotante se encuentra instalada sobre un depósito de agua potable desde el 2016 fecha en que se inauguró. (Estudio Solar, 2019)



Ilustración 12. Planta fotovoltaica flotante Queen Elisabeth II Reservoir.

Fuente: (Estudio Solar, 2019)

3.2 TEORÍAS DEL SUSTENTO

3.2.1 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

“La energía solar fotovoltaica se basa en la utilización de células solares o fotovoltaicas, fabricadas con materiales semiconductores cristalinos que, por efecto fotovoltaico, generan corriente eléctrica cuando sobre los mismos incide la radiación solar” (González et al., 2009).

CHARLES FRITTS



“Charles Fritts construyó las primeras células solares en 1883, usando las uniones formadas por el recubrimiento del semiconductor selenio con una capa ultra fina y casi transparente de oro. Los dispositivos de Fritts eran convertidores de energía muy ineficientes; transformaban menos del 1 por ciento de la energía luminosa absorbida en energía eléctrica”. (Byrnes, 2008)

3.2.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Un sistema solar fotovoltaico es un tipo sistema que aprovecha la radiación solar y la transforma en energía eléctrica a través de módulos solares conectados en serie y paralelo, regulador de carga, inversores, baterías de almacenamiento y conductores eléctricos. (Forget, 2011, p. 14)

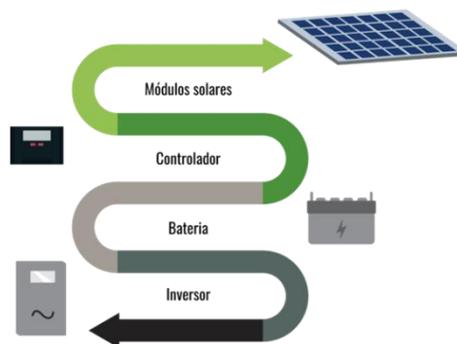


Ilustración 13. Componentes básicos de una instalación fotovoltaica

Fuente: (Vicente, 2017)

Según Abella (2005), existen varios tipos de configuraciones en un sistema fotovoltaico para su funcionamiento, pero hay dos principales clasificaciones de los mismos dependiendo de si están o no conectados a la red convencional: los sistemas aislados o autónomos de la red eléctrica y los sistemas de conexión a la red eléctrica.

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AISLADOS

El objetivo de un sistema fotovoltaico autónomo (SFA) es generar la energía a través del módulo solar, transportarla por medio de conductores eléctricos, regularla para luego almacenarla y ser utilizada en los periodos cuando la generación de energía eléctrica es menor al consumo. En otras palabras, un SFA se caracteriza básicamente por acumular la energía eléctrica producida por los módulos solares. (Lamigueiro, 2018).

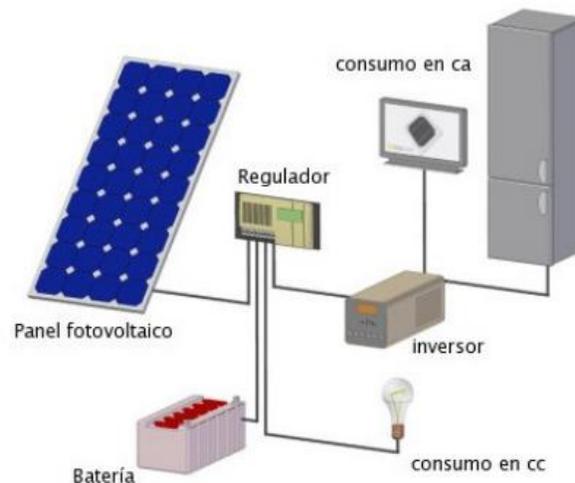


Ilustración 14. Esquema general de una instalación fotovoltaica aislada

Fuente: (Sánchez, 2012)

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE CONEXIÓN A RED

Un sistema fotovoltaico de conexión a red es una configuración que consiste en generar energía eléctrica y transportarla a la red eléctrica convencional. Generalmente este tipo de conexiones se realiza cuando hay un sistema eléctrico previo cerca de la instalación. Sus componentes a diferencia de los sistemas aislados se basan en generar y transporta la energía eléctrica, pero no almacenarla. (Parlá, 2011, p. 6)

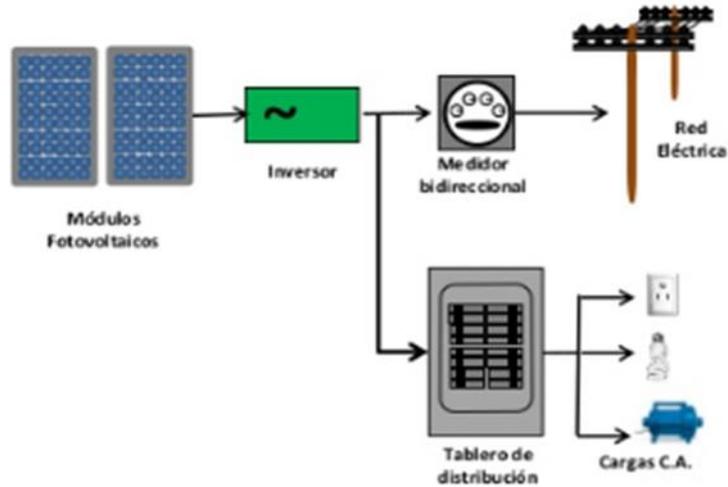


Ilustración 15. Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a la red.

Fuente: (González et al., 2003)

3.2.3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS SEGÚN EL LUGAR DE INSTALACIÓN

Los sistemas fotovoltaicos se clasifican también en función de lugar donde se instalan, habitualmente las instalaciones de los sistemas son: sobre techo, en terreno y sobre el agua (lago o mar).

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS SOBRE TECHO

Las instalaciones fotovoltaicas de techo, son sistemas instalados que permiten el aprovechamiento de la superficie del tejado para la producción de energía eléctrica. La cantidad de paneles o potencia que se pueda aprovechar dependerá de su área y que tan útil se ésta, entre mayor sea su área útil, mayor será la cantidad de energía que podrá generar. Habitualmente los sistemas sobre techos son menores en potencia en comparación con los sistemas sobre el suelo y eso es debido únicamente al área aprovechable que se tiene es mayor. (Enerray, 2017)



Ilustración 16. Sistema fotovoltaico típico sobre techo

Fuente: (Sánchez, 2012)

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS SOBRE SUELO

Los sistemas fotovoltaicos sobre suelo suelen ser más grandes que los sistemas sobre techos y los sistemas flotantes, esto se debe a la disponibilidad de espacio y acceso. Típicamente en un sistema sobre el suelo los módulos solares van montados sobre estructuras, lo cual permite configurarlos según sea necesario. Los sistemas fotovoltaicos sobre el suelo generalmente son construidos para generar energía eléctrica e inyectarla a la red convencional para ser vendida o para sistemas que requieran grandes cantidades de energía eléctrica.



Ilustración 17. Sistema fotovoltaico típico sobre suelo

Fuente: (Rivero, 2015)

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS FLOTANTES

“Los sistemas fotovoltaicos flotantes son sistemas que no son instalados en tierra sino en agua. Estos sistemas están constituidos por los mismos paneles fotovoltaicos utilizados para los sistemas terrestres comunes, pero utilizan tecnologías específicas para poder flotar en cuerpos de agua” (Planas, 2020).

3.2.4 COMPONENTES DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO FLOTANTE

MÓDULO FLOTANTE

Los módulos flotantes o flotadores son componentes esenciales en sistemas fotovoltaicos flotantes, son diseñados a partir de HDPE (polietileno de alta densidad) lo cual permite una mayor resistencia a la corrosión en comparación con otros materiales, mantienen una flotabilidad estable, permiten que el usuario pueda realizar la operación y mantenimientos a través de ellos, además, son resistentes a los fuertes vientos y a los choques de las olas. (Menéndez & Marruedo, 2018, p. 8)

SISTEMA DE ANCLAJE Y AMARRE

El sistema de anclaje y amarre en un sistema fotovoltaico flotante sirve para mantener fijo los módulos flotantes en conjunto con los módulos solares de tal manera que éstos mantengan la orientación adecuada para aprovechar la irradiación solar máxima. En muchos casos el sistema de anclaje y amarre cumple la función de ajustar la estructura flotante según el incremento o disminución del nivel de agua. (Menéndez & Marruedo 2018, p. 9)

MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Los módulos fotovoltaicos en un sistema son los encargados de transformar la energía proveniente del sol en energía eléctrica, esto es gracias al efecto producido en sus celdas solares. La potencia de cada módulo fotovoltaico dependerá de las condiciones STC a las que es sometido (entre más favorable sean las condiciones en las que opera, mayor será su rendimiento), del

número de celdas solares que tenga integrado y la calidad de sus semiconductores con el que fue diseñado. (Krenzinger & Prieb, 2005)

INVERSOR

El inversor es un componente esencial para un sistema solar fotovoltaico, su función es convertir la energía eléctrica continua (DC) que es generada por los módulos solares y convertirla en energía eléctrica alterna (AC) dirigida hacia la carga o hacia el sistema de red eléctrica convencional. (González et al., 2009).

CABLEADO

“Los cables solares están diseñados para transportar la energía que generan los módulos solares, son específicamente diseñados para resistir la radiación UV, las fluctuaciones de temperatura extremadamente altas y, por lo general, no se ven afectados por el clima” (Alcántara, 2018. p. 21).

3.3 CONCEPTUALIZACIÓN DE VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

3.3.1 PARÁMETROS TÉCNICOS DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

ANGULO DE INCLINACIÓN

El ángulo de inclinación de un sistema solar es determinado según la radiación que incide en el sitio donde estarán ubicados los módulos solares, otros factores que determinan el ángulo de inclinación son: las sombras que otros objetos pueden proyectar en los módulos solares, el mayor aprovechamiento máximo de la radiación solar, el coeficiente de albedo y en otros casos, según las aplicaciones para el que es diseñado el sistema. (Díaz Santos et al., 2018)

ACIMUT

González et al., (2009) afirma: “El Acimut es el ángulo formado por la proyección sobre la superficie horizontal del lugar, de la recta sol-Tierra, con respecto a la recta Norte-Sur terrestre. En el hemisferio norte se mide hacia el Sur y es positivo hacia el Oeste, siendo todo lo contrario para el hemisferio sur”. (p. 157)

POTENCIA NOMINAL DC

La capacidad nominal DC en un sistema fotovoltaico, es el producto del número de módulos en el sistema por la potencia nominal de cada módulo, por lo tanto, se puede afirmar que es la potencia total instalada que pueden generar los módulos solares.

POTENCIA NOMINAL AC

La potencia nominal AC de un sistema fotovoltaico, es el producto del número de inversores instalados por la potencia nominal de cada uno de ellos. En concreto es toda la potencia instalada que precede en los inversores.

PRODUCCIÓN ANUAL PROMEDIO

La producción anual promedio es el resultado de la energía total que se puede obtener durante la operación de un proyecto entre los años de vida útil. Para un sistema fotovoltaico generalmente se considera una vida útil entre veinte y veinticinco años, basado en el tiempo de vida de un módulo solar. (Fernández, 2017, p. 40)

3.3.2 PARÁMETROS FINANCIEROS DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

COSTO DE CAPITAL

El costo de capital es la inversión o recursos que se necesita para poder llevar a cabo un proyecto determinado con el objetivo de generar ganancias.

COSTO ESPECÍFICO DE CAPITAL

El costo específico de capital proporciona el costo de un proyecto por unidad de potencia (\$/Wp). En otros términos, proporciona el costo por instalar un watt-pico de potencia.

COSTO NIVELADO DE LA ELECTRICIDAD (LCOE)

LCOE, o costo nivelado de electricidad, es lo que cuesta producir un para un proyecto en operación. El costo nivelado de la electricidad va a depender de la inversión que se incurra en el proyecto, el costo de operación y mantenimiento, de la energía eléctrica generada y de la vida

útil del proyecto. Para el cálculo del LCOE de un sistema fotovoltaico el costo de combustible es nulo, esto se debe a que para este tipo de tecnología no se hace uso de combustible para la producción de energía eléctrica. (Ragheb 2017)

$$LCOE = \sum_{i=1}^{25} \frac{CC_i [\text{\$}] + O\&M_i [\text{\$}] + Fuel\ Cost_i [\text{\$}]}{Energía_i [kWh]}$$

Ecuación 1. Costo nivelado de la electricidad

Fuente: (Ragheb 2017)

Donde:

LCOE: Costo nivelado de la electricidad

CC_i : Inversión Inicial

O&M_i: Operación y Mantenimiento

Fuel Cost_i: Gastos por combustible

i : Años

VALOR ACTUAL NETO (VAN)

“Valor Actual Neto (VAN) es un criterio financiero que nos permite evaluar la rentabilidad de las inversiones; los futuros flujos de caja deben ser actualizados a una tasa de costo de oportunidad de capital (que es la tasa de rentabilidad mínima que se exige si se realiza el proyecto)” (Cabrerros, 2003).

$$VAN = -I_o + \sum_{t=1}^n \frac{FE_t}{(1+i)^t} = -I_o + \frac{FE_1}{(1+i)^1} + \frac{FE_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FE_n}{(1+i)^n}$$

Ecuación 2. Valor actual neto

Fuente: (Machala, 2016)

Donde:

VAN: Valor actual neto

I_0 : Inversión Inicial

FE_t : Flujos de Efectivo por Período

i : Tasa de Interés

n : Número de períodos de tiempo

TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

La tasa interna de retorno (TIR) es una variable financiera que nos proporciona la rentabilidad de un proyecto. En otras palabras, la TIR se trata de un porcentaje de ganancias o pérdidas que se concurrirán en una inversión determinada. Puga et al., (2015) afirma: "La tasa interna de retorno (TIR) es una variable financiera que nos proporciona la rentabilidad de un proyecto. En otras palabras, la TIR se trata de un porcentaje de beneficio o perdida que se concurrirá en una inversión determinada" (p. 116).

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{F_n}{(1+i)^n} = 0$$

Ecuación 3. Tasa interna de retorno

Fuente: (Milián, 2012)

Donde:

TIR : Tasa interna de retorno

F_n : Flujos de Efectivo por Período

i : Tasa de Interés

n : Número de períodos de tiempo

IV. METODOLOGÍA

En este capítulo se describirá las técnicas que se utilizarán para el desarrollo de la investigación, el cual consiste en el estudio de un sistema fotovoltaico flotante para la generación de energía eléctrica. De igual forma se explicará cada uno de los procedimientos necesarios para el funcionamiento óptimo del sistema, en donde se describen los pasos del trabajo desarrollado para la obtención de los resultados deseados y todas las consideraciones propias de la investigación.

4.1 ENFOQUE

El tema de investigación será abordado desde un enfoque cuantitativo y cualitativo. Debido a que el objetivo de la investigación, es de tipo aplicado, se requiere de una colección de datos para resolver una problemática con base a los objetivos y al planteamiento del problema en general.

4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

En esta fase, se presentan las variables en estudio (ver Ilustración 17) para la presente investigación, las cuales se identifican por medio de la formulación del problema y se clasifican en: variables independientes y dependientes.

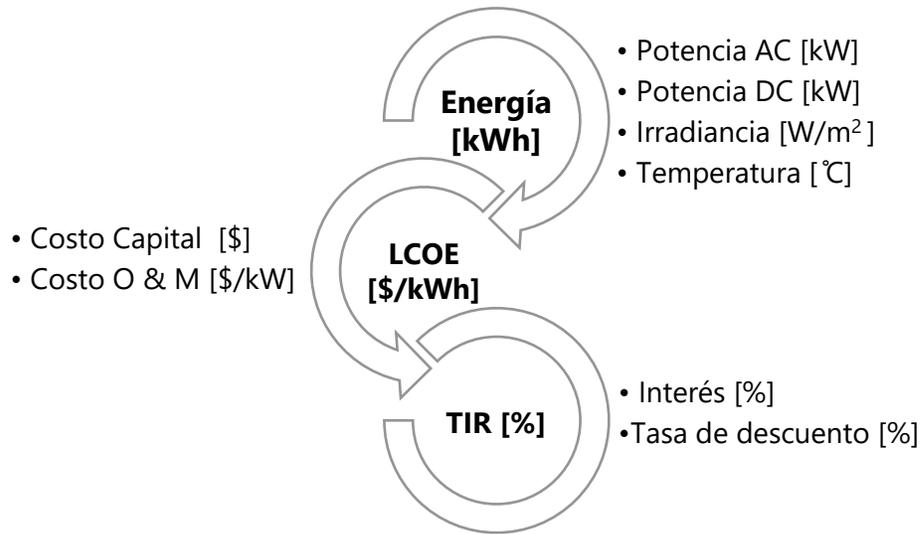


Ilustración 18. Dimensión de las variables independientes

Fuente: Elaboración propia

4.2.1 VARIABLES INDEPENDIENTES

Entre las variables independientes están:

- Potencia AC [kW]
- Potencia DC [kW]
- Irradiancia [W/m²]
- Temperatura [°C]
- Costo Capital [\$]
- Costo O & M [\$/kW]
- Interés [%]
- Tasa de descuento [%]

4.2.2 VARIABLES DEPENDIENTES

Las variables dependientes en el desarrollo de la investigación son:

- Energía [kWh]
- LCOE [\$/kWh]

- TIR [%]

4.3 HIPÓTESIS

La sección de hipótesis presenta las suposiciones de la investigación, con el fin de determinar si es viable o no, la implementación de un sistema fotovoltaico flotante para la isla de Guanaja.

H₁: Los sistemas fotovoltaicos flotantes Guanaja tienen un LCOE menor que el de un sistema de generación térmica.

H₂: Los sistemas fotovoltaicos flotantes Guanaja tienen un LCOE mayor que el de un sistema de generación térmica.

4.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

En el desarrollo de esta investigación se hace el uso de artículos, libros, revistas y sitios fiables de internet con el objetivo de realizar una búsqueda de información referente al tema.

4.4.2 INSTRUMENTOS APLICADOS

Para obtener los resultados de la presente investigación se utilizarán programas capaces de simular y brindar datos que nos faciliten el análisis tecno-económico del sistema solar fotovoltaico.

QGIS

Qgis es un software de información geográfica el que se pueden crear, diseñar y editar mapas. El software es gratuito o libre lo que permite que uso sea más accesible, además está diseñado para distintos sistemas operativos como el Windows. En Qgis se realizaron los mapas que componen la población y muestra, con el fin de visualizar de una mejor manera el área donde se realizó la investigación.

PVSYST

PVsyst es un software para computadores personales utilizado para estudios, dimensionamiento y análisis de datos de sistemas fotovoltaicos. En PVsyst se pueden hacer simulaciones desde sistemas conectados a la red hasta sistemas de bombeo, incluye extensas bases de datos sobre los componentes de sistemas fotovoltaicos y datos meteorológicos, así como herramientas generales de energía solar. (Wegeneve, 2019)

Se utiliza PVsyst como herramienta principal para el desarrollo de esta investigación, para crear modelos de un sistema fotovoltaico y correr simulaciones.

HELIOSCOPE

El software HelioScope se utiliza para simplificar el proceso de diseño de sistemas fotovoltaicos, combina herramientas de diseño optimizadas con simulaciones. Al igual que PVsyst, este software contiene una gran base de datos en componentes que facilitan las simulaciones.

HelioScope nos servirá como validación y comparación de los datos obtenidos en PVsyst, esto permite una mayor fiabilidad en los resultados como tal.

EXCEL

Excel es un programa de hojas de cálculos el cual permite el análisis y la tabulación de un conjunto de datos. Microsoft Excel nos ayudará a tabular y analizar datos obtenidos en todas las etapas de la investigación.

4.5 POBLACIÓN Y MUESTRA

La presente investigación está centrada en el departamento de Islas de la Bahía, Guanaja. El municipio de Guanaja está localizado al norte de costa de Honduras y tiene una extensión territorial de aproximadamente de 57 km² ver ilustración 18.

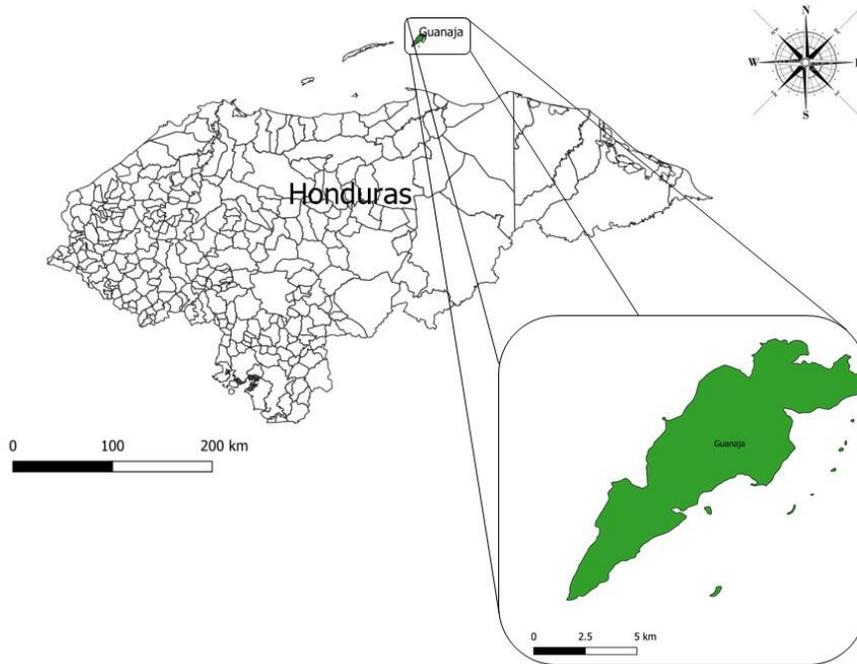


Ilustración 19. Mapa de Guanaja, Islas de la Bahía

Fuente: Elaboración propia

4.6 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

En la presente sección se remite a los métodos utilizados para el desarrollo del problema planteado anteriormente, especificando las actividades que se realizaron. Se tratará de explicar detalladamente los procedimientos, técnicas y materiales que se necesitaron para la realización del trabajo. La Ilustración 19 detalla un esquema de desarrollo de la metodología de estudio.

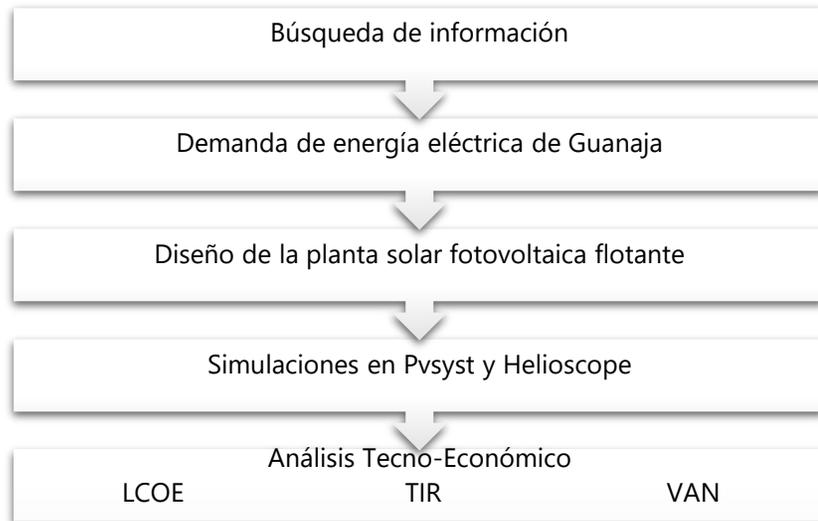


Ilustración 20. Esquema de desarrollo de la metodología de estudio

Fuente: Elaboración Propia

4.6.1 BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN

Inicialmente se realizó la búsqueda de información necesaria para conocer y definir los conceptos referentes al tema de investigación. En el marco teórico se describe la energía solar fotovoltaica y todas las especificaciones referentes a un sistema fotovoltaico flotante permitiendo un enfoque más amplio para un mejor desarrollo de la metodología.

Luego se vio la necesidad de analizar la demanda de energía eléctrica de Guanaja para determinar la dimensión del sistema fotovoltaico flotante. Determinar el lugar para la ejecución del sistema fotovoltaico flotante en función de: oleaje, área y puntos de conexión a la red, diseñar la planta solar fotovoltaica flotante según la demanda de energía eléctrica a suplir, tomando en cuenta las singularidades que se presentan según el lugar escogido para la instalación.

4.6.2 DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

En el primer paso del desarrollo de la metodología fue analizar la demanda de la energía eléctrica de Guanaja, con el fin de determinar la proyección de potencia necesaria que se requerirá para el sistema solar fotovoltaico flotante y que a su vez satisfaga con el consumo eléctrico promedio durante la operación y vida útil del proyecto.

4.6.3 SITIO APROPIADO PARA LA EJECUCIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Seguidamente se analizó el lugar más apropiado para realizar la instalación fotovoltaica que satisfaga los parámetros técnicos y financieros del proyecto, cumpliendo con los principales puntos de análisis: área y punto de conexión.

4.6.4 DISEÑO DE LA PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA FLOTANTE

Después de haber analizado y concluido con la demanda que se requerirá el sistema fotovoltaico flotante se establecieron los parámetros generales y las configuraciones de diseño del sistema según la demanda eléctrica por suplir, las condiciones en las que serán sometidos los componentes del sistema y según el criterio del diseñador. En esta fase se deberá evaluar y determinar las características técnicas de los componentes según las peculiaridades principales de la demanda.

MÓDULO FLOTANTE

Existen diversos fabricantes de sistemas flotantes para proyectos fotovoltaicos entre ellos están: Esfera Solar, Isigeniere Renovables y Ciel & Terre. Se realizó una matriz de decisión como herramienta principal para la selección de la compañía de fabricación de módulos flotantes que contenga una mejor estructura, diseño, facilidad en operación y mantenimiento y costo.

SISTEMA DE ANCLAJE Y AMARRE

Una vez seleccionado el módulo flotante, se prosiguió a diseñar el sistema de anclaje y amarre. Como se explicó anteriormente en la metodología, el sistema de anclaje y amarre, permite que el sistema flotante mantenga una posición fija, por lo tanto, se seleccionó un sistema de anclaje y amarre que minimizará los daños ambientales pero que a su vez cumpliera con el objetivo de mantener al sistema flotante fijo.

ÁNGULO DE INCLINACIÓN

El ángulo de inclinación en un sistema fotovoltaico sobre techo al igual que en el caso de un sistema flotante el ángulo de inclinación puede ser elegido según la ubicación geográfica del

sistema. Para realizar las simulaciones se del sistema fotovoltaico se utilizó un ángulo de quince (15) grados. Debido a que el sistema esta compuesto por una estructura flotante a nivel del suelo, un cambio en el ángulo, no genera mayor diferencia en la generación de energía eléctrica y en el costo.

ACIMUT

El acimut en un sistema fotovoltaico al igual que el ángulo de inclinación va a depender de la ubicación geográfica del sistema anexo a eso, va a depender del hemisferio en el que se encuentre. Para Guanaja la orientación más acertada es hacia el sur ya que se encuentra en el hemisferio norte.

SECTOR ENERGÉTICO

Esta investigación está encaminada para ser aplicada en el sector industrial. Se investigarán valores técnicos y financieros adecuados para la producción de energía eléctrica en granjas flotantes en donde toda la energía generada sea exportada a la red eléctrica. El sistema está diseñado para una vida útil 25 años.

CAPACIDAD NOMINAL AC

Para determinar la capacidad nominal AC, se buscaron perfiles de cargas sobre el sector energético de Guanaja, permitiendo realizar un análisis para establecer la potencia nominal AC que tendrá el sistema fotovoltaico flotante.

RATIO DC/AC Y TEMPERATURA ANUAL

El ratio es la relación entre potencia DC y AC. Si el ratio es igual a uno (1) significa que la conversión de energía es de manera ideal, en otras palabras, que toda la energía que se produce en los módulos solares se está inyectando a la red. Generalmente, el ratio varía según la ubicación geográfica y para Honduras los valores del ratio varían entre 1.1 ~ 1.3.

Para determinar el ratio adecuado se realizó un análisis de sensibilidad mostrando diferentes escenarios de operación del sistema fotovoltaico flotante con el software PVsyst, los

resultados obtenidos nos darán un panorama detallado de la configuración y operación del sistema.

La temperatura al igual que el ratio varía según la ubicación del sistema solar fotovoltaico, generalmente los módulos fotovoltaicos varían la producción de energía según la temperatura que incide sobre ellos. Por lo tanto, la generación dependerá del ratio y la temperatura.

CAPACIDAD NOMINAL DC

Una vez ya establecido el ratio según la ubicación del sistema flotante, se determinó la capacidad nominal DC para ello se utilizó la Ecuación 4, que representa una relación de potencias.

$$\text{Capacidad nominal DC} = \text{Ratio} * \text{Capacidad nominal AC}$$

Ecuación 4. Capacidad nominal del sistema fotovoltaico

MÓDULOS

El número de módulos está asociado por la energía demandada, la irradiación anual según la ubicación geográfica, la capacidad nominal del módulo solar y un factor de pérdidas mostrada en la Ecuación 5.

$$\# \text{ módulos} = \frac{\text{Energía demandada}}{\text{Irradiación anual} * \text{Capacidad nominal del módulo} * PR}$$

Ecuación 5. Número de módulos para el sistema fotovoltaico

INVERSORES

La Ecuación 6, denota la relación que existe entre la capacidad nominal AC y la capacidad nominal del inversor que da como resultado la cantidad de inversores o el número de inversores que se necesitaran instalar en un sistema fotovoltaico.

$$\# \text{ inversores} = \frac{\text{Capacidad nominal AC}}{\text{Capacidad nominal inversor}}$$

Ecuación 6. Número de inversores para el sistema fotovoltaico

CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO FLOTANTE

Para determinar la configuración del sistema fotovoltaico flotante es necesario determinar el número mínimo de módulos conectados en serie y en paralelo de manera que no excedan los límites de voltajes y corrientes respectivos del inversor.

Número mínimo de módulos

El sistema fotovoltaico flotante requerirá de un número mínimo de módulos conectados en serie, para el cálculo del número de los módulos fotovoltaico se debe tener en cuenta ciertos parámetros. Estos parámetros son el voltaje de arranque del inversor y un ajuste del voltaje por temperatura de los módulos. El ajuste del voltaje por temperatura mostrada en la Ecuación 7, va a depender de la ubicación del sistema.

$$V_{mín} = \left[V_{mp} + (T_{prom} + T_{raise} - T_{STC}) \left(TC_{max} * \frac{V_{mp}}{100} \right) \right]$$

Ecuación 7. Ajuste del voltaje por temperatura del módulo

Donde:

$V_{mín}$: Voltaje mínimo por ajuste de temperatura

V_{mp} : Voltaje a máxima potencia

T_{prom} : Temperatura promedio del sitio

T_{raise} : Temperatura de la superficie

T_{STC} : Temperatura bajo condiciones de prueba

TC_{max} : Rendimiento por temperatura

El número mínimo de módulos fotovoltaicos determina la mínima cantidad de módulos conectados en serie que debe contener una cadena, con el objetivo de que el inversor pueda operar. Para el cálculo del número mínimo de módulos fotovoltaico se utilizó la Ecuación 8.

$$\# \text{ mínimo de módulos} = \left(\frac{V \text{ start inversor}}{V_{min} (1 - \text{factor pérdidas})} \right)$$

Ecuación 8. Número mínimo de módulos en serie del sistema

Número máximo de módulos

Para el cálculo del número máximo de módulos se utilizó la Ecuación 9 y la Ecuación 10. La Ecuación 9 es un ajuste del voltaje máximo por temperaturas y la Ecuación 10 determina el número máximo de módulos en serie de una cadena.

$$V_{max} = \left[V_{oc} + (T_{low} - T_{sc}) \left(T_{cvoc} * \frac{V_{oc}}{100} \right) \right]$$

Ecuación 9. Ajuste del voltaje máximo por temperatura

Donde:

V_{max}: Voltaje máximo por ajuste de temperatura

V_{oc}: Voltaje de cortocircuito

T_{low}: Temperatura record más baja del sitio

T_{STC}: Temperatura bajo condiciones de prueba

TC_{max}: Rendimiento por temperatura

El número máximo de módulos determina la cantidad máxima de módulos que se pueden conectar en una cadena de modo que no exceda las capacidades máximas de voltaje del inversor.

$$\# \text{ máximo de módulos} = \left(\frac{V_{max \text{ Inversor}}}{V_{max}} \right)$$

Ecuación 10. Número máximo de módulos en serie

Donde:

V_{max Inversor}: Voltaje máximo del inversor

V_{max}: Voltaje máximo por ajuste de temperatura

MÁXIMO Y MÍNIMO DE CADENAS

El número de cadenas proporciona la cantidad de módulos solares que serán conectados al inversor, por lo que, el número de cadenas dependerá de las especificaciones técnicas del inversor y del módulo seleccionado.

$$\# \text{ cadenas} = \min \left(\frac{\text{Inversor } I_{sc}}{\text{Módulo } I_{sc}}; \frac{\text{Inversor Max Input Current}}{\text{Módulo Imp Current}} \right)$$

Ecuación 11. Máximo y mínimo de cadenas del sistema

Donde:

Inversor I_{sc}: Corriente de cortocircuito del inversor

Módulo Isc: Corriente de cortocircuito del módulo

Inversor Max Input Current: Corriente máxima de entrada del inversor

Módulo Imp Current: Corriente máxima del módulo

TRANSFORMADOR

Debido a que la energía generada será inyectada a la red eléctrica, se vio la necesidad de añadir un transformador que eleve el voltaje de la salida del transformador al voltaje de la red. En su mayoría los transformadores se distribuyen dependiendo los kVA (kilovoltiamperio), para determinar la capacidad del transformador se utilizó la ecuación 12, con los parámetros de salida del inversor.

$$\text{Capacidad transformador} = (\sqrt{3} * I_{\text{output inverter}} * V_{\text{output inverter}})$$

Ecuación 12. Capacidad del transformador para el sistema

CABLEADO

A diferencia de un sistema en superficie los conductores eléctricos en un sistema fotovoltaico flotante los conductores pueden ir sumergidos en el agua o sobre la misma. Para el diseño del sistema flotante en Guanaja, los conductores eléctricos van desde la caja de registro (ubicada en el sistema flotante) sumergidos hasta la cabina de control donde están ubicados los inversores.

4.6.5 SIMULACIONES EN PVSYS

Una vez analizado la demanda del sistema energético de Guanaja, elegido el sitio adecuado para el sistema fotovoltaico flotante y habiendo realizado el diseño del mismo, se procede a realizar las simulaciones en Pvsyst. Las simulaciones se realizaron con el fin de evaluar la energía eléctrica producida por el sistema flotante según las coordenadas y las condiciones técnicas del lugar en el que se realizó el proyecto.

4.6.6 ANÁLISIS TECNO-ECONÓMICO

Luego de haber realizado las simulaciones y de haber obtenido la generación de energía eléctrica del sistema fotovoltaico flotante se realizó un análisis tecno-económico, teniendo en

cuenta varios factores: la vida útil del proyecto, factor de degradación de los componentes del sistema, la tasa de inflación, un análisis con financiamiento y sin financiamiento.

COSTO DE CAPITAL

Para calcular el costo de capital se monetizaron todos los gastos que ocurrirán en el desarrollo y puesta en marcha del sistema fotovoltaico flotante, así como también todos los permisos vinculados al proyecto, como ser: licencias ambientales y permisos de construcción. Con el fin de obtener un valor más próximo al costo real.

COSTO ESPECÍFICO DE CAPITAL

En el costo específico de capital se analizó el costo de capital o de inversión en relación a la potencia instalada, permitiendo comparar los resultados con otros proyectos.

COSTO NIVELADO DE LA ELECTRICIDAD (LCOE)

Una vez realizado el análisis de la inversión, el costo por operación y mantenimiento y el flujo de energía generada, se calculó costo nivelado con la Ecuación 1. El LCOE obtenido para el sistema flotante será muy importante de esa forma se sabrá el costo por cada kilowatt producido.

VALOR ACTUAL NETO (VAN)

Luego de haber calculado la inversión y los flujos de energía se procede a calcular el valor actual neto. El valor actual neto se obtuvo a partir de los flujos de caja de cada año en el que se generó energía eléctrica realizándose con la ayuda de la Ecuación 2.

TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

La tasa interna de retorno que representa la viabilidad de un proyecto en un periodo determinado, para el sistema flotante se calculó con la Ecuación 3, en la que se iguala el valor actual neto a cero.

4.7 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

En la Tabla 2 se presentan las actividades que se realizaron para la elaboración del presente trabajo de investigación, con el fin de sustentar la labor realizada.

Tabla 2. Cronograma de Actividades

Actividades para la elaboración del Proyecto de Investigación	Semanas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Planteamiento del problema	■									
Marco teórico		■	■							
Metodología			■							
Diseño del sistema fotovoltaico				■	■					
Simulaciones PVsyst				■	■					
Análisis Tecno-económico				■	■					
Resultados					■	■				
Introducción y Resumen							■			
Conclusiones, Recomendaciones y Paper								■		
Informe final y presentación									■	■
Pre-defensa										■

Fuente: (Elaboración Propia)

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se analizarán los aportes generados por las teorías de sustento expuestas en el marco teórico del presente informe, por otra parte, se presentarán las pruebas realizadas durante las diferentes etapas de la metodología, para luego realizar una comparación de la teoría propuesta con los resultados obtenidos.

5.1 DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Para determinar la demanda de energía eléctrica de Guanaja se analizó la demanda de la energía de los años 2014 y 2015 y se proyectaron los consumos para los siguientes años (ver Tabla 3). Según FICHTNER (2016), se espera que la carga eléctrica crezca un 5% anual. Para ser conservador con el diseño, se aplica el mismo crecimiento para la carga máxima.

Tabla 3. Previsión de la evolución de la carga de Guanaja

Año	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Consumo total [MWh/a]	4,375	4,672	4,906	5,151	5,409	5,679	5,962.95
Pico de carga [kW]	949	916	962	1,010	1,060	1,113	1,168.65

Fuente: Elaboración propia con datos de FICHTNER (2016)

5.2 SITIO APROPIADO PARA LA EJECUCIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

En Guanaja existen varios puntos estratégicos para la instalación de un sistema solar fotovoltaico, entre ellos están; Savanna Bight, Sandy Bay y Pelican Ridge. Para seleccionar el lugar apropiado para el proyecto se realizó una matriz de decisión mostrada en la Tabla 4. Se seleccionó Savannah Bight como un punto apropiado, para el desarrollo del proyecto. Para seleccionar el lugar apropiado se tomaron en cuenta los siguientes parámetros: área disponible, puntos de conexión a la red, puntos de acceso, zonas protegidas y profundidad del agua.

Tabla 4. Selección del sitio del proyecto

Criterios orientadores	Savanna Bight	Sandy Bay	Pelican Rige
-------------------------------	----------------------	------------------	---------------------

Área disponible > 9 km ²	✓	✓	✗
Puntos de conexión	✓	✗	✓
Acceso	✓	✓	✓
Zonas protegidas	✗	✓	✓
Profundidad < 10 pies	✓	✗	✗

Fuente: Elaboración propia

En la Ilustración 21 se muestran los datos de hidrografía y cobertura de la tierra de la isla de Guanaja. Las áreas mostradas en color rojo son las principales concentraciones de población urbana, entre estas están Savanna Bight.



Ilustración 21. Mapa forestal y de cobertura de la tierra de Guanaja

Fuente: (Carvajal, 2015)

5.2.1 ÁREA

Unas de las principales aldeas de Guanaja es Savannah Bight, la cual está ubicada al sureste de la isla y cuenta con una población de aproximadamente de 1,049 habitantes lo cual representa un 30% de la población total. (INE, 2013). En la Ilustración 22, se muestra una imagen de vista de

planta de Savannah Bight, en conjunto se muestra el área donde se realizará la instalación del sistema fotovoltaico flotante. Área de la superficie aprovechable para la instalación de un sistema fotovoltaico flotante es de aproximadamente 10,451 metros cuadrados con coordenadas: latitud 16.485486° N y longitud -85.852230° W.

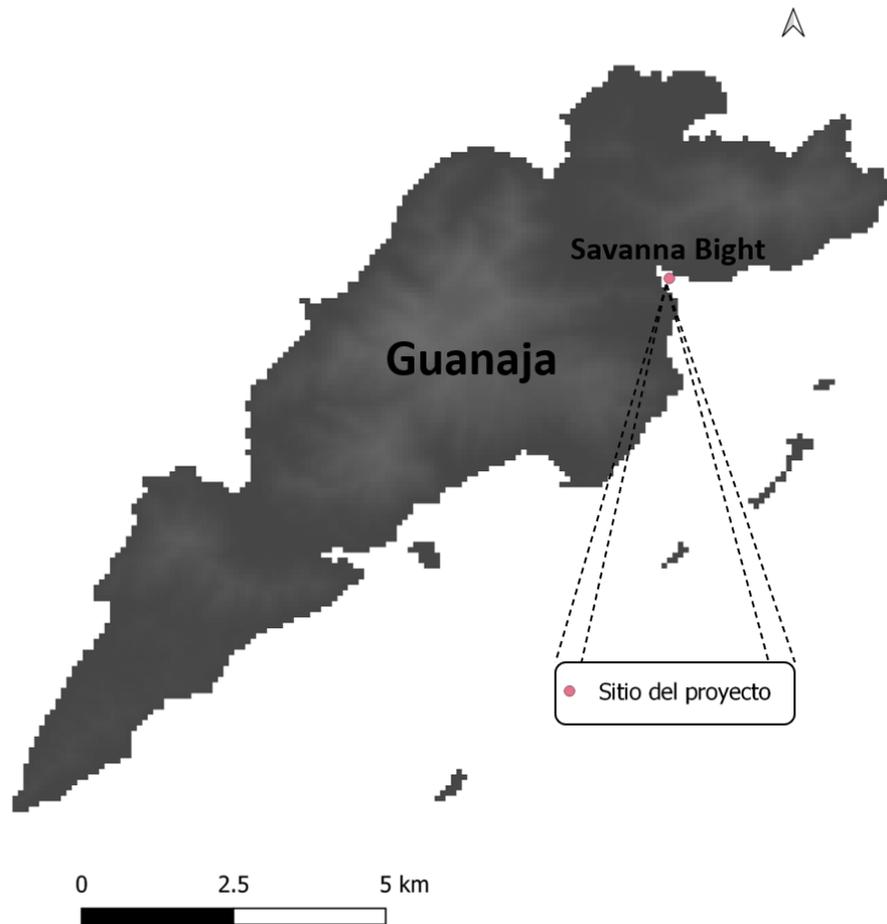


Ilustración 22. Ubicación del lugar para la instalación del sistema

Fuente: (Google Maps, 2020)

5.2.2 PUNTOS DE CONEXIÓN A LA RED

Para el análisis del punto de conexión del sistema fotovoltaico a la red eléctrica existente, se identificó y se proyectó la distribución de las líneas de transmisión de 13.8 kV. La Ilustración 23 muestra la ruta de distribución de las líneas de transmisión, por lo tanto, desde el sitio del proyecto hasta las líneas de distribución tensión existe un rango de distancia de cerca de 520 metros.

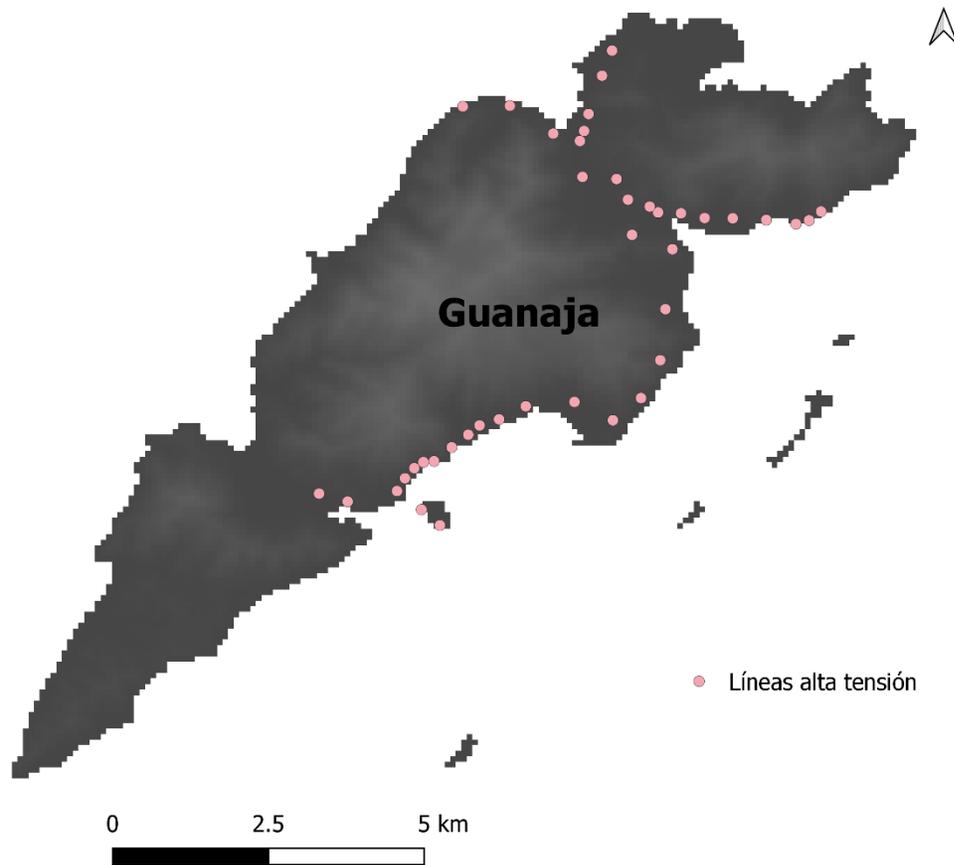


Ilustración 23. Distribución de las líneas de alta tensión en Guanajuato

Fuente: Elaboración propia

5.3 DISEÑO DE LA PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA FLOTANTE

5.3.1 MODULO FLOTANTE

Según los resultados obtenidos en la Tabla 5, se seleccionó la compañía Ciel & Terre para la implementación del modulo flotante ya que es una de las mejores compañías de fabricación de flotadores e implementación de sistemas flotantes en el mundo.

Tabla 5. Selección de compañía de módulos flotantes

Criterios orientadores	Ciel & Terre	Esfera Solar	Isigeniere Renovables
Estructura	✓	x ✓	x ✓
Diseño	✓	x ✓	x ✓

O&M	✓	✓	✓
Costo	✓	✓	✓
Cobertura por Watt	✓	x ✓	x ✓

Fuente: Elaboración propia

CIEL & TERRE

La compañía Ciel & Terre cuenta con una experiencia de más de nueve (9) años desarrollando sistemas fotovoltaicos flotantes, como base principal en el desarrollo de sistemas flotantes, utilizan tecnología Hydrelío, el cual es un concepto fotovoltaico patentado a base de agua y que consiste en flotadores modulares de estilo Lego, ensamblándose en filas. Los flotadores están hechos de PEAD (polietileno expandido de alta densidad), lo que permite mantener la estabilidad de los módulos solares sobre el agua no importando los riesgos ambientales a largo, como el viento y la lluvia.



Ilustración 24. Sistema fotovoltaico flotante instalado por en Ciel y Terre con sistema Hydrelío en Japón

Fuente: (Spatuzza, 2015)

La compañía Ciel & Terre desarrolla tres tipos de flotadores:

HYDRELIO CLASSIC	EQUIPO HYDRELIO	AIRE HYDRELIO
<ul style="list-style-type: none"> • Fácil operación y mantenimiento. • Sistema de fijación de módulos para 15 ° y 22 ° disponible • Registro de 3 plantas instaladas en el embalse con olas de hasta 1 m. • Sistema para anclaje 	<ul style="list-style-type: none"> • Inclinación fija de 5 ° • Diseñado para regiones ecuatoriales que optimizan el rendimiento diario. • Anclaje más ligero • La solución de transporte más rentable. 	<ul style="list-style-type: none"> • Flotador plano equipado con un sistema de estantería simple para soporte e inclinación del módulo • Diseño específico para permitir que el aire fluya alrededor de los módulos. • Múltiples inclinaciones disponibles • Solución de transporte rentable.

Por su fácil operación y mantenimiento además de que su sistema de fijación a quince grados coincide con la inclinación prevista para el sistema fotovoltaico en Guanaja, se utilizará el flotador HYDRELIO CLASSIC.

En la Ilustración 25 se muestra un esquema del flotador de HYDRELIO CLASSIC, desarrollado por la compañía Ciel & Terre.

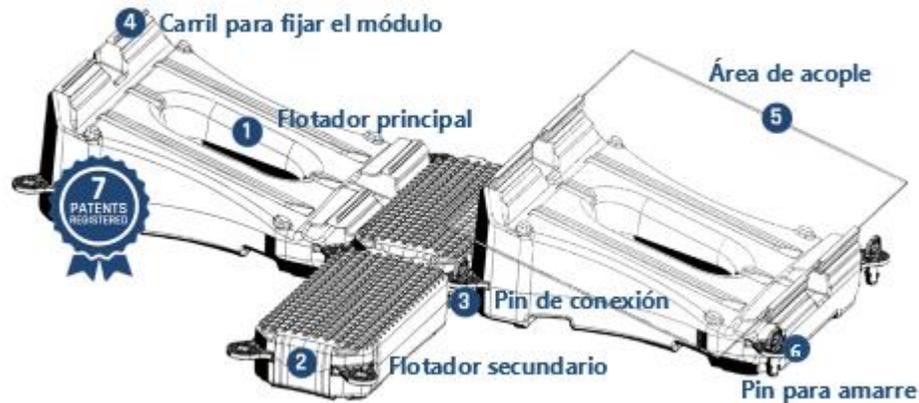


Ilustración 25. Esquema de flotador HYDRELIO CLASSIC

Fuente: Elaboración propia con parámetros de Ciel et Terre (2011)

5.3.2 SISTEMA DE ANCLAJE

Los flotadores HYDRELIO CLASSIC están diseñados de manera que en sus extremos permiten la unión al anclaje. Según ciel et terre, (2011) los paneles solares una vez ensamblados en los flotadores y ubicados en el sitio, la plataforma debe unirse con barras de aluminio fijadas en los extremos de los flotadores, permitiendo la interconexión de los flotadores, seguidamente los flotadores deben anclarse con cables y al final con cadenas con grilletes en cada extremo, de esa manera el flotador se protegerá al tener impactos por el viento.

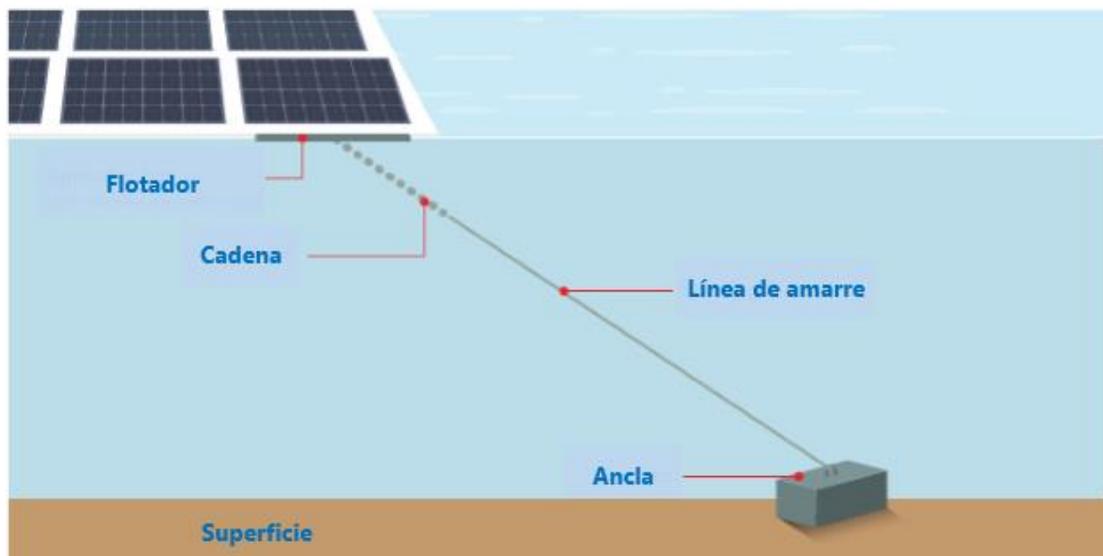


Ilustración 26. Sistema de anclaje para el sistema fotovoltaico

Fuente: Elaboración propia

5.3.3 CAPACIDAD NOMINAL AC

Según el resultado del análisis de la demanda de energía eléctrica para Guanaja, mostrados en la Tabla 3, para el diseño del sistema fotovoltaico se utilizará una potencia nominal de 1 MWac, que representa un promedio de la demanda pico en los últimos nueve (9) años.

5.3.4 RATIO DC/AC

Para determinar el ratio del sistema solar flotante en Guanaja se realizó un análisis de sensibilidad en función de la producción promedio anual de energía eléctrica bajo los mismos

critérios. En la Ilustración 27 se muestran los resultados obtenidos, según los resultados era mayor producción promedio de energía eléctrica es con un ratio DC/AC de 1.25, por lo tanto, se seleccionó un ratio de 1.25 para el diseño del sistema fotovoltaico flotante.

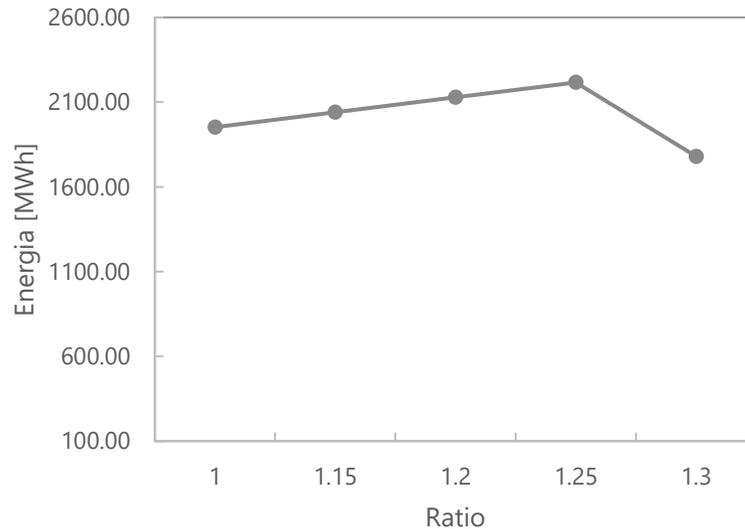


Ilustración 27. Producción anual promedio en función del Ratio DC/AC

Fuente: Elaboración propia con datos de PVsyst

5.3.5 CAPACIDAD NOMINAL DC

La capacidad nominal DC se obtuvo a partir de la relación de potencia respecto al ratio fue de 1.25 MW de potencia. Esta será la potencia en DC que generarán los módulos fotovoltaicos antes de ser transportada y convertida por los inversores.

$$\text{Capacidad nominal DC} = \text{Ratio} * \text{Capacidad nominal AC} = 1.25 * 1 \text{ MW} = 1.25 \text{ MW}$$

5.3.6 IRRADIACIÓN Y TEMPERATURA ANUAL

La irradiación anual para Guanaja, Savanna Bight en específico para el 2015 fue de 2,185.190 [kWh/m²] y una temperatura media de 25.43 [°C] grados según los datos de la Tabla 6. Los datos de Irradiación se obtuvieron con PVGIS, a un ángulo de inclinación de los módulos de 15 [°] grados.

Tabla 6. Irradiación y temperatura anual

Inclinación módulos 15 [°]		
Mes	Irradiación [kWh/m2]	Temperatura media [°C]
Enero	159.21	23.9
Febrero	168.04	23.1
Marzo	211.91	24.6
Abril	208.11	26.4
Mayo	197.48	25.7
Junio	153.26	26.1
Julio	194.49	26.1
Agosto	207.54	26.7
Septiembre	176.45	26.9
Octubre	186.5	26.3
Noviembre	153.88	25.1
Diciembre	168.32	24.3

Fuente: Elaboración propia con datos de PVgis

5.3.7 MÓDULOS

Se seleccionaron módulos solares de Canadian Solar del modelo HIKU (SUPER HIGH POWER POLY PERC MODULE) CS3W-415P, para el diseño de la instalación fotovoltaica en Guanaja. Canadian Solar es una compañía que provee módulos solares, de alta calidad en todo el mundo. Es uno de los máximos proveedores de módulos a nivel mundial, por su calidad y relación rendimiento/precio. La compañía ha desarrollado y fabricado módulos solares para proyectos fotovoltaicos de módulos solares con más de 30 GW extendidos en todo el mundo desde 2001. (Canadiansolar, 2001)

En promedio se utilizarán 3,024 módulos de 415 W, resultado obtenido de la Ecuación 5, que relaciona la energía demandada, la irradiación anual del lugar, la capacidad de los módulos y el factor de pérdidas.

$$\begin{aligned} \# \text{módulos} &= \frac{\text{Energía demandada}}{\text{Irradiación anual} * \text{Capacidad nominal del módulo} * PR} \\ &= \frac{1000 [kW] * 6 [h] * 365}{2,185.190 \left[\frac{kWh}{m^2} \right] * 0.415 [kWp] * 80\%} = 3,018 \end{aligned}$$

DATOS ELÉCTRICOS DEL MÓDULO SOLAR BAJO NORMAS STC

En la Tabla 7 se muestran los datos del módulo fotovoltaico Canadian Solar bajo normas STC.

Tabla 7. Datos eléctricos bajo normas STC

Características Eléctricas en STC	
Potencia Máxima [Pmax]	415 Wp
Tensión en el Punto de Máxima Potencia [Vmax]	39. V
Corriente en el punto de máxima potencia [Imax]	10.56 A
Tensión en Circuito Abierto [Voc]	47.8 V
Corriente de cortocircuito [Isc]	11.14 A
Eficiencia [-]	18.79 %
Tolerancia de Potencia [+]	+ 1.5 %

Fuente: (Canadiansolar, 2001)

DISEÑO DEL MÓDULO SOLAR

El diseño del módulo solar presentado en la Ilustración 28, muestra las dimensiones de altura, longitud y espesor, así como los puntos de conexión a tierra para la protección del mismo. Estos parámetros serán importantes para el dimensionamiento del módulo flotante o flotador. Para más información del módulo solar ver Anexo 1.

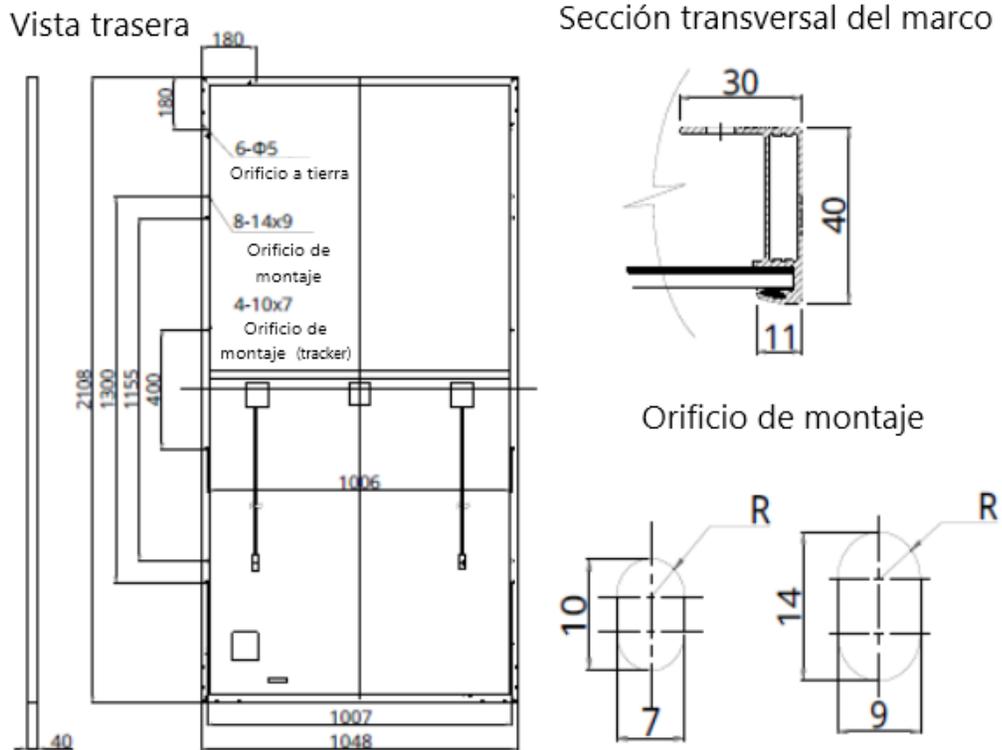


Ilustración 28. Dimensiones del módulo Canadian Solar [mm]

Fuente: (Canadiansolar, 2001)

5.3.8 INVERSORES

En el diseño de la instalación fotovoltaica en Guanaja, se seleccionaron 2 inversores Schneider Electric con modelos GT 500-480 de 500 kWac de potencia cada uno. Resultado de la Ecuación 6. El Anexo 2 brinda información más detallada del inversor.

$$\# \text{ inversores} = \frac{\text{Capacidad nominal AC}}{\text{Capacidad nominal inversor}} = \frac{1000 [kW]}{500 [kWac]} = 2$$



Ilustración 29. Inversores Schneider Electric

Fuente: (Schneider Electric, 2014)

ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS

Los rangos de voltajes y corrientes de entrada y salida del inversor, además de su eficiencia de funcionamiento se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Especificaciones eléctricas de inversor GT500

Artículo	Descripción
Entrada (DC)	
Rango de voltaje de entrada, MPPT	310 a 480 V
Máximo voltaje de entrada, circuito abierto	600 V
Corriente de entrada máxima	1,720 A
Máxima corriente de cortocircuito de entrada	2,150 A
Corriente de retroalimentación DC	0 A
Salida (AC)	
El voltaje de salida	480 V Delta
Potencia Nominal	500 kW
Eficiencia	
Pico	96.90%

Fuente: (Schneider Electric, 2014)

En la Tabla 7 se muestran las especificaciones generales de funcionamiento del inversor Schneider Electric.

Tabla 9. Especificaciones generales del inversor Schneider Electric

Artículo	Descripción
Consumo de potencia del inversor	336 W
Dimensiones del inversor (A × L × A)	224 × 463.8 × 108.7 cm
La temperatura del aire ambiente para el funcionamiento [°C]	-20 a 50
Material de encapsulado	Acabado de pintura en polvo, altamente reflectante y galvanizado.
Altitud de funcionamiento [m]	2,000
Humedad relativa [%]	0 a 95 sin condensación

Fuente: (Schneider Electric, 2014)

5.4.8 CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO FLOTANTE

NÚMERO MÍNIMO DE MÓDULOS

El sistema fotovoltaico flotante requerirá de un número mínimo de nueve (9) módulos conectados en serie. Resultado obtenido de la Ecuación 7 y 8.

El voltaje mínimo por ajuste de temperatura es de aproximadamente 38.95 voltios.

$$V_{\min} = \left[V_{mp} + (T_{prom} + T_{raise} - T_{sc}) \left(T_{cmax} * \frac{V_{mp}}{100} \right) \right] = \left[39 + (25.43 + 30 - 25) \left(-0.41\% * \frac{39}{100} \right) \right] = 38.95 V$$

El número mínimo de módulos que se obtuvo para sistema fue de 8.84, pero este valor se redondea al número entero próximo como factor de seguridad por lo tanto será nueve (9).

$$\# \text{ mínimo de módulos} = \left(\frac{V \text{ start inversor}}{V_{\min} (1 - \text{factor pérdidas})} \right) = \left(\frac{310}{38.95 * 0.90} \right) = 8.84 = 9$$

NÚMERO MÁXIMO DE MÓDULOS

El número máximo de módulos conectados en serie por cadena según la Ecuación 9 y 10, donde se analizan los parámetros de operación del módulo y del inversor es de doce (12).

El voltaje máximo por ajuste de temperatura es de 48.08 voltios, este resultado de analizar la el funcionamiento del módulo a diferentes temperaturas.

$$V_{max} = \left[V_{oc} + (T_{low} - T_{sc}) \left(T_{cvoc} * \frac{V_{oc}}{100} \right) \right] = \left[47.8 + (23.1 - 25) \left(-0.31\% * \frac{47.8}{100} \right) \right] = 48.08 V$$

Para el definir el número máximo de módulos en caso de no ser un número entero se redondea al número menor como factor de seguridad. En este caso el valor es de 12 módulos como máximo por cadena.

$$\# \text{ máximo de módulos} = \left(\frac{V_{max \text{ Inversor}}}{V_{max}} \right) = \left(\frac{600}{48.08} \right) = 12.47 = 12$$

MÁXIMO Y MÍNIMO DE CADENAS

Después de haber determinado el mínimo y máximo número de módulos por cadena se calcularon los rangos de máximos y mínimos de cadenas en el que se pueda configurar los módulos al inversor.

$$\# \text{ cadenas} = \min \left(\frac{\text{Inversor } I_{sc}}{\text{Módulo } I_{sc}}; \frac{\text{Inversor Max Input Current}}{\text{Módulo Imp Current}} \right) = \left(\frac{2,150}{11.14}; \frac{1,720}{11.14} \right) = (192.99; 153.87)$$

= 153

RESUMEN

Luego de haber analizado los diferentes parámetros del inversor y del módulo fotovoltaico se concluyó que para el arreglo fotovoltaico dispondrá de 2 inversores centrales con un único tracker y un arreglo fotovoltaico de 126 cadenas de 12 módulos de 415 W por inversor (ver Tabla 10). Los resultados de la configuración de las cadenas y la cantidad de módulos se establecieron de esa manera por conveniencia del sistema.

Tabla 10. Configuración del sistema fotovoltaico flotante

Equipo	Cadenas	Módulos	Potencia [W]
Inversor #1 (Único tracker)	126	12	415
Inversor #2 (Único tracker)	126	12	415

Fuente: Elaboración propia

En la Ilustración 30 se muestra una vista de planta de la configuración de un sistema fotovoltaico flotante con sistema de módulos Ciel & Terre.



Ilustración 30. Vista de planta de sistema fotovoltaico flotante con sistema Ciel & Terre.

Fuente: (VINCI, 2019)

5.4.9 TRANSFORMADOR

La red eléctrica de Guanaja mantiene un voltaje en líneas de transmisión de 13.8 KV y el voltaje de salida del inversor es de 480 V, debido a esta diferencia de tensión se necesita un (1) transformador por cadena de 500 KVA que eleve el voltaje del inversor al mismo voltaje de las líneas de transmisión. Por lo tanto, se ocuparían dos (2) transformadores en total. Para el cálculo del transformador se tomaron los datos de salida del inversor.

$$\begin{aligned} \text{Capacidad transformador} &= (\sqrt{3} * I_{\text{output inverter}} * V_{\text{output inverter}}) = (\sqrt{3} * 610 * 480) = 507.14 \text{ KVA} \\ &= 500 \text{ KVA} \end{aligned}$$

5.4.10 CABLEADO

Los paneles solares se conectarán en serie y paralelo, utilizando los cables proporcionados del panel que provienen de su caja de conexión interna. Los conductores en los que se interconectan en los módulos solares son de cobre (Cu) y tienen cuatro milímetros cuadrados (4 mm²).

Los cables externos se unirán a la línea de paneles, tanto el polo positivo como el polo negativo con las cajas de conexión, luego serán ingresados en tubos de acero inoxidable que los transportarán hasta donde se encuentran los dos inversores de 500 kW. Se recomienda utilizar conductores eléctricos especialmente fabricados para sistemas fotovoltaicos como el conductor TOPSOLAR PV H1Z2Z2-K, este tipo de conductores es apto para instalaciones fotovoltaicas, principalmente para la conexión entre paneles fotovoltaicos y desde los paneles al inversor de corriente DC a corriente AC. Gracias al diseño de sus materiales, puede ser instalado a la intemperie.



Ilustración 31. Conductor TOPSOLAR PV H1Z2Z2-K

Fuente: (Chaparro & Teixidor, 2020)

5.4.11 RESUMEN DEL DISEÑO DEL SISTEMA

En la Tabla 11 se muestra un resumen de los resultados sobre el diseño técnico del sistema fotovoltaico flotante.

Tabla 11. Resumen de resultados sobre el diseño del sistema flotante

Diseño técnico del sistema fotovoltaico flotante	
Ángulo de inclinación [°]	15
Acimut	Hacia el sur
Modulo flotante (Ciel & Terre)	HYDRELIO CLASSIC

Capacidad nominal AC [MW]	1
Ratio DC/AC	1.25
Capacidad nominal DC [MWp]	1.25
Irradiación anual [kWh/m2]	2,185.190
Temperatura promedio anual [°]	25.43
Módulos Canadian Solar	3,024
Inversores Schneider Electric [500 MWac]	2
Transformador [KVA]	2

Fuente: Elaboración propia

5.4 SIMULACIONES EN PVSYST Y HELIOSCOPE

PVSYST

En la Tabla 12, se muestran los resultados obtenidos en Pvsyst, sobre la generación de energía eléctrica producida por el sistema fotovoltaico flotante y la energía eléctrica inyectada al sistema eléctrico convencional por mes el Anexo 3 muestra el informe realizado en PVsyst.

Tabla 12. Generación de energía anual

Mes	Energía inyectada a la red [MWh]
Enero	178.2
Febrero	185.5
Marzo	195.2
Abril	208.7
Mayo	199.7
Junio	182
Julio	189.6
Agosto	205.2
Septiembre	196.5
Octubre	167.8
Noviembre	147.6
Diciembre	160.1
Total	2,216.100

Fuente: Elaboración propia con datos de PVsyst

La Ilustración 32 muestra de manera gráfica los datos obtenidos en la Tabla 10. Los meses de abril, mayo y agosto, son los meses de mayor producción de energía.

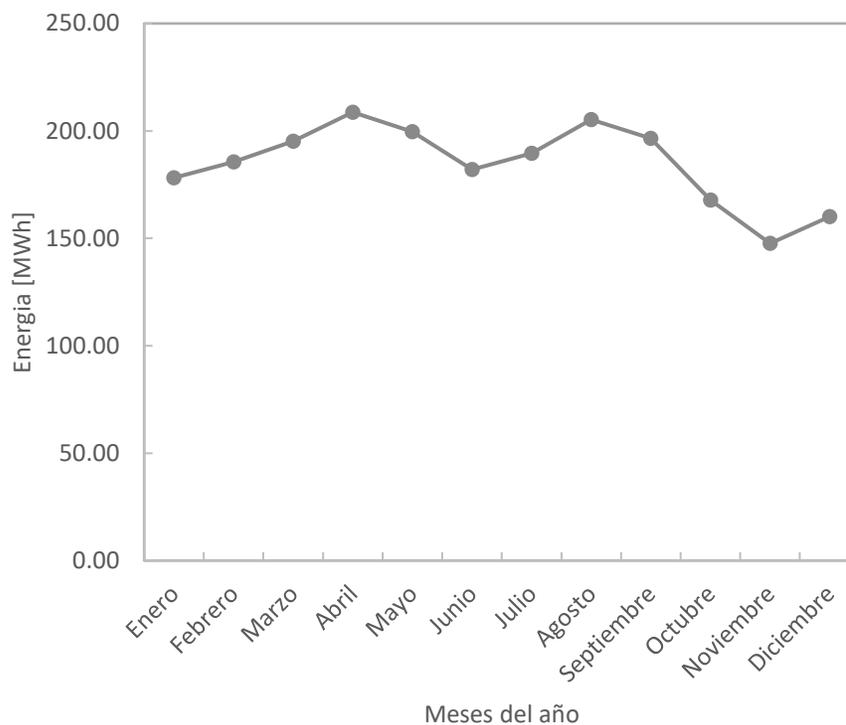


Ilustración 32. Gráfica de generación de energía anual para el sistema analizado

Fuente: Elaboración propia con datos de PVsyst

Los resultados esenciales del diseño del sistema fotovoltaico según las simulaciones realizadas en PVsyst son mostrados en la Tabla 13.

Tabla 13. Resumen de resultados de PVsyst

Diseño técnico del sistema fotovoltaico flotante en Pvsyst	
Latitud [°]	16.49 N
Longitud [°]	-85.85 W
Ángulo de inclinación [°]	15
Acimut hacia el sur [°]	0
Capacidad nominal AC [MW]	1
Ratio DC/AC	1.25
Capacidad nominal DC [MWp]	1.251
Irradiación anual [kWh/m ²]	2,165.4
Temperatura promedio anual [°]	26.82
Rendimiento específico [kWh/kWp/año]	1772

Módulos Canadian Solar	3,014
Inversores 2 Schneider Electric [kWac]	500
Configuración de cadenas y módulos	
Cadenas	252
Módulos	12

Fuente: Elaboración propia con datos de PVsyst

HELIOSCOPE

Se utilizó Helioscope para simular la generación de energía del sistema fotovoltaico flotante, la Ilustración 33 muestra la curva de generación de energía eléctrica que el sistema estaría produciendo. Los meses de marzo, abril y septiembre son los meses de mayor producción de energía eléctrica.

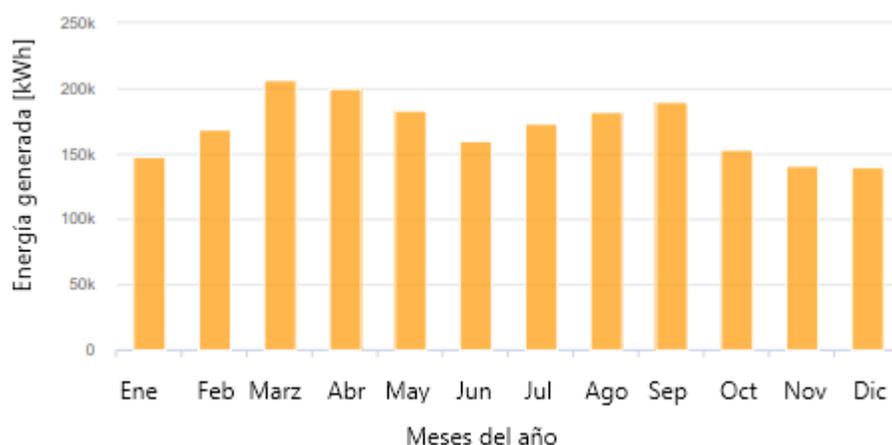


Ilustración 33. Curva de generación de energía eléctrica del sistema

Fuente: (HelioScope, 2019)

5.5 ANÁLISIS TECNO-ECONÓMICO

5.6.1 COSTO DE CAPITAL

La inversión requerida para el sistema solar fotovoltaico flotante se desglosa en la Tabla 14. Los costos de los equipos o de los permisos se promediaron en base a resultados de estudios realizados anteriormente y cotizaciones que se realizaron del mercado actual.

Tabla 14. Desglose de la inversión inicial

PRESUPUESTO	
Objeto	Total [\$]
Sistema Flotante	
Modulo flotante (Ciel & Terre)	583,750.00
Sistema de amarre y anclaje	27,125.00
Ensamblado	52,500.00
Transporte	132,675.00
Aduana	132,675.0000
Total	928,725.00
Instalación Fotovoltaica	
Módulos Canadian Solar 415 Wp	1,422,220.00
Inversores Schneider Electric 500 kWac	60,000.00
Cableado	187,500.00
Transformador trifásico [500 KVA]	20,000.00
Transporte	337,944.00
Aduana	337,944.0000
Total	2,027,664.00
Ingeniería	103,750.00
Licencias ambientales y permisos (1.1%)	33,661.53
Contingencias (25%)	8415.38
Sub total	3,102,215.91
Terreno (Acre)	13,684.50
Cuarto de control	12,000.00
Total	3,127,900.41

Fuente: Elaboración propia

5.6.2 VARIABLES DE ENTRADA

Las variables de entrada (ver Tabla 13), indican los parámetros más importantes al momento del cálculo financiero. Los datos de las variables de entrada se obtuvieron a partir de simulaciones, costos y tarifas promedias, investigaciones y trabajos realizados en la implementación de sistemas fotovoltaicos. Algunos datos pueden variar dependiendo las consideraciones del diseñador o dependiendo los escenarios propuestos.

Tabla 15. Desglose de las variables de entrada

Parámetros de entrada	
Rendimiento específico del sistema [kWh/kWp]	1,772.0
Capacidad instalada [kW]	1,250
Costo unitario de watt[\$/W]	2.50
Tasa de inflación [%]	1.5
Tarifa energía solar [\$/kWh]	0.21
Tasa de descuento [%]	9
Costo de operación y mantenimiento (anual)[\$/kW]	40
Pérdida anual de rendimiento en paneles [%]	0.5
Costo total de instalación [\$]	3,127,900
Inversión fondos propios [%]	30
Inversión fondos propios [\$]	938,370
Deuda [%]	70
Deuda [\$]	2,189,530
Tasa de interés prestamo [%]	8.5
Plazo de prestamo [años]	10
Factor de recuperación de capital [-]	0.152
Impuesto sobre la renta [%]	-
Seguros [% de costo total de instalación]	0.5
Ciclo de vida del proyecto [años]	25

Fuente: Elaboración propia

5.6.3 ANÁLISIS ECONÓMICO SIN FINANCIAMIENTO

El análisis sin financiamiento es aquel en donde el dueño o inversionista del proyecto aporta el 100% del costo total. En la Tabla 14 se denotan los resultados de mayor interés para el análisis financiero del proyecto.

Tabla 16. Resultados del análisis económico sin financiamiento

Parámetros de salida	
Periodo de recuperación de la inversión [años]	6
Tasa interna de retorno (TIR) [%]	20%
Valor actual neto (VAN) [\$]	5,457,400.48
Retorno de la inversión (ROI) [%]	174.5
Costo nivelado ponderado (LCOE) [\$/kWh]	0.1701

Fuente: Elaboración propia

5.6.4 ANÁLISIS ECONÓMICO CON FINANCIAMIENTO

En el análisis financiero con financiamiento, el dueño o inversionista del proyecto aporta una parte del monto de la inversión inicial, la otra parte la aporta una entidad financiera o bancaria. Para proyectos fotovoltaico generalmente el esquema en la división del costo total es de 70 – 30, 70% lo aporta la entidad financiera o bancaria y el 30% restante lo aporta el dueño o inversionista. La Tabla 15 muestra los resultados que se obtuvieron bajo el esquema 70 – 30.

Tabla 17. Resultados del análisis económico con financiamiento

Parámetros de salida	
Periodo de recuperación de la inversión [años]	5
Tasa interna de retorno (TIR) [%]	28%
Valor actual neto (VAN) [\$]	3,866,884.22
Retorno de la inversión (ROI) [%]	123.63
Costo nivelado ponderado (LCOE) [\$/kWh]	0.1210

Fuente: Elaboración propia

5.6.4 ANÁLISIS AMBIENTAL

Las reducciones de CO₂ en proyectos de módulos solares son muy reducidas en comparación con otras tecnologías, los valores por emisiones de CO₂ son de (0.05 kg-CO₂/kWh) y un generador térmico produce CO₂ hasta los (0.5 kg-CO₂/kWh).

La reducción total se puede calcular de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 \text{Reducción de CO}_2 &= (0.5 - 0.05) \frac{\text{kg} - \text{CO}_2}{\text{kWh}} (\text{Energía generada} * \text{vida útil del proyecto}) \\
 &= (0.25) \frac{\text{kg} - \text{CO}_2}{\text{kWh}} * 2,216.100 \text{ MWh} * 25 = 13.8506 \frac{\text{kTon} - \text{CO}_2}{\text{kWh}}
 \end{aligned}$$

Ecuación 9. Cálculo de reducción de emisiones de CO₂

Para este proyecto se reducirían 13.8506 kilo Ton de CO₂ por kWh según lo calculado en la ecuación 9.

VI. CONCLUSIONES

La investigación presentada se realizó con el fin efectuar un análisis tecno-económico de un sistema fotovoltaico. Las principales variables que se analizaron son la demanda de la energía eléctrica, la ubicación del sistema, su diseño, LCOE, la TIR y la VAN. A partir de los resultados obtenidos se logró llegar a las siguientes conclusiones:

1. El crecimiento de la demanda de energía eléctrica de Guanaja entre el 2014 y el 2015 fue de 5%, se proyectó la demanda pico hasta el año 2020 y se determinó que el promedio de la demanda pico en los últimos nueve (9) años fue de 1 MWac.
2. El lugar más apropiado para la ejecución del sistema fotovoltaico flotante es Savanna Bight, que cuenta con una área de aproximadamente 10,451 metros cuadrados disponible y su punto de conexión a la red eléctrica tiene una distancia de 519.34 metros.
3. En el diseño de la planta solar fotovoltaica flotante según la demanda de energía eléctrica a suplir, se utilizaron 3,024 módulos solares, Canadian Solar de 415 Wp, dos (2) inversores principales, Schneider Electric de 500 kW cada uno y un transformador tipo pad mounted de 500 kVA para elevar la tensión proveniente del inversor de 480 V a 13.8 KVA.
4. El sistema fotovoltaico flotante según las simulaciones realizadas en Pvsyst, producirá en promedio anual 2,216 MWh de energía eléctrica. Los 2,216 MWh es la energía que será inyectada a la red eléctrica de 13.8 KVA.
5. En el análisis económico del proyecto, para el escenario con financiamiento se obtuvo un LCOE de 0.1210 \$/kWh, un VAN de \$3,866,884.22 y un TIR de 28%. Para el segundo escenario sin financiamiento obtuvo un LCOE de 0.1701 \$/kWh, un VAN de \$ 5,457,400.48 y un TIR de 20%. Ambos escenarios muestran la viabilidad del proyecto, pero al inversionista le conviene el segundo escenario.

En el desarrollo de la presente investigación existieron varias limitantes, la principal limitación de esta investigación es la poca información sobre datos del oleaje en puntos específicos de Guanaja. El análisis tecno-económico del sistema fotovoltaico flotante, permite que toda aquella persona o empresa interesada que considere evaluar la implementación de un sistema fotovoltaico flotante en Guanaja, conozca si es viable o no, a partir del LCOE, el VAN y la TIR.

VII. RECOMENDACIONES

Para finalizar el proyecto se puede concluir que se cumplieron todos los objetivos propuestos y se respondieron todas las preguntas de investigación con éxito. A continuación, se detallan las recomendaciones principales.

1. La demanda de energía eléctrica que se obtuvo en esta investigación, fue de datos de años entre el 2014 y 2015, por lo que se recomienda analizar la demanda de energía de los años anteriores más recientes.
2. El sitio del proyecto se selecciona bajo criterios del área disponible y puntos de conexión a la red eléctrica del sistema de distribución, se recomienda incluir el oleaje como criterio para la selección del sitio.
3. El diseño de la planta solar fotovoltaico flotante se realiza con sistemas de módulos flotantes a partir de Hidrelyo fabricados por la compañía Ciel & Terre, se recomienda analizar otros tipos de sistemas de módulos o estructuras flotantes en futuras investigaciones.
4. Las simulaciones del sistema fotovoltaico flotante son realizadas en Pvsyst y se hicieron con módulos fotovoltaicos Canadian Solar de 415 Wp, se recomienda elaborar simulaciones con otros tipos de módulos fotovoltaicos para determinar el costo beneficio a partir de los costos de los módulos y la generación de energía eléctrica.
5. En el análisis económico del proyecto los costos, tarifas y tasas para el cálculo del LCOE, el VAN y la TIR, se determinan a partir de valores en años anteriores, por lo cual se recomienda utilizar valores más recientes en futuras investigaciones.

VIII. LIMITANTES DE LA INVESTIGACIÓN

En el desarrollo de la presente investigación existieron varias limitantes, la principal limitación de esta investigación es la poca información sobre datos del oleaje en puntos específicos de Guanaja, otra limitante es la falta de disponibilidad de datos de generación de energía o demanda eléctrica de Guanaja de los años anteriores más próximos.

IX. APLICABILIDAD/IMPLEMENTACIÓN

El análisis tecno-económico del sistema fotovoltaico flotante, permite que toda aquella persona o empresa interesada que considere evaluar la implementación de un sistema fotovoltaico flotante en Guanaja, conozca si es viable o no, a partir del LCOE, el VAN y la TIR.

X. EVOLUCIÓN DE TRABAJO ACTUAL / TRABAJO FUTURO

Esta investigación fue desarrollada considerando un solo sistema de módulos flotantes para el análisis del sistema fotovoltaico, una segunda etapa de este trabajo investigativo consistiría en utilizar otros sistemas o estructuras de módulos flotantes y comparar el LCOE, el VAN y la TIR de cada escenario con los de esta investigación, para determinar si existe algún tipo de variación.

BIBLIOGRAFÍA

- Abella. (2005). *Sistemas_fotovoltaicos_Sistemas_Fotovolt.pdf*.
- Alcántara. (2018a). *Estudio técnico-económico de una central fotovoltaica flotante en el embalse de Tavera*. 51.
- Alcántara. (2018b). *Estudio técnico-económico de una central fotovoltaica flotante en el embalse de Tavera*. 51.
- Arroyo, A. M., & Marruedo, D. L. (2018). *Proyecto Fin de Máster Ingeniería Industrial*. 123.
- Byrnes. (2008). *NSE290-FinalPaper.pdf*. <http://sjbyrnes.com/NSE290-FinalPaper.pdf>
- Cabreros. (2003). *COSTO DE CAPITAL*.
<https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/economia/22/a09.pdf>
- Canadiansolar. (2001). *Solar canadiense*. /hiku/
- Carvajal, M. L. (2015). *ICF*. 43.
- Cerna. (2019). *IRENA_IID 2019_Session III_Cerna_ODS_Honduras.pdf*.
- Chaparro, A. R., & Teixidor, I. M. (2020). *Instal·lació fotovoltaica connectada a la xarxa sobre la coberta d'una nau industrial*. 132.
- Ciel et Terre. (2011). *Ciel et Terre – specializing in floating solar panels since 2011*.
<https://www.ciel-et-terre.net/>
- Ciel et Terre. (2018). *UMENOKI: 7,550 kWp*. *Ciel et Terre International*. <https://www.ciel-et-terre.net/project/umenoki-7550-kwp/>

- Díaz Santos, R., Castro Fernández, M., Santos Fuentefría, A., & Vilaragut Llanes, M. (2018). Análisis de la influencia del ángulo de inclinación en la generación de una central fotovoltaica. *Ingeniería Energética*, 39(3), 146–156. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1815-59012018000300002&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- ENEE. (2018). *INFORME SOCIALIZACION BRUS LAGUNA.pdf*. http://www.enee.hn/Documentos/analisis_ambiental_social/INFORME%20SOCIALIZACION%20BRUS%20LAGUNA.pdf
- Enerray. (2017). *Ventajas de los sistemas solares en techos – Enerray – LATAM*. <https://www.enerray.com/es/blog/ventajas-sistemas-solares-en-techos>
- Es energía. (2018). La instalación de energía fotovoltaica flotante mas grande de Japón. *Es energía*. <https://esenergia.es/energia-fotovoltaica-flotante-mas-grande/>
- Estudio Solar. (2019). Conoce las principales granjas flotantes de energía solar del mundo. *Estudio Solar*. <https://estudiosolar.cl/granjas-flotantes-energia-solar/>
- Fernández. (2017). *Proyecto de diseño e implementación de un sistema fotovoltaico de interconexión a la red eléctrica en la Universidad Tecnológica de Altamira*.
- FICHTNER. (2016a). *FICHT-_16785996-v1-Hybrid_Design_Report_-_Guanaja.pdf*.
- FICHTNER. (2016b). *FICHT-_16785996-v1-Hybrid_Design_Report_-_Guanaja.pdf*.
- Forget. (2011). *Manual-técnico-AF-solar-FV-VF-110617.pdf*. <http://www.astridforget.com/wp-content/uploads/2014/10/Manual-t%C3%A9cnico-AF-solar-FV-VF-110617.pdf>

González, Pérez, R. C., Santos, A. C., & Gil, M. A. C. (2009). *Centrales de energías renovables*. 730.

González, R., Humberto R., & Javier Lagunas M. (2003). *Sistemas-Fotovoltaicos-conectados-a-la-red.pdf*. <https://ecotec.unam.mx/wp-content/uploads/Sistemas-Fotovoltaicos-conectados-a-la-red.pdf>

Google Maps. (2020). Google Maps. <https://www.google.com/maps/place/Guanaja/@16.4596209,-85.9538535,22882m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x8f6a75a5f9998c2f:0xc1cc5021e4733a34!8m2!3d16.4826614!4d-85.8793252>

HelioScope. (2019). *HelioScope: Advanced Solar Design Software*. <https://www.helioscope.com/>

INE. (2013). *Guanaja-islas-de-la-bahia.pdf*. <https://www.ine.gob.hn/V3/imagen/doc/2019/08/Guanaja-islas-de-la-bahia.pdf>

IPCC. (2011). *Srren_report_es-1.pdf*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srren_report_es-1.pdf

IRENA. (2020). *Statistics Time Series*. [/Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Statistics-Time-Series](#). [/Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Statistics-Time-Series](#)

Isaza, R. A. H. (2010). *CARLOS ANDRES TORRES*. 44, 6.

Krenzinger, & Prieb. (2005). *CLASIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS PARA UNA CENTRAL CONECTADA A LA RED*.

http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/82225/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

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

Lee, S.-H., Lee, N.-H., Choi, H.-C., & Kim, J.-O. (2012). Study on Analysis of Suitable Site for Development of Floating Photovoltaic System. *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, 26(7), 30–38.
<https://doi.org/10.5207/JIEIE.2012.26.7.030>

Machala. (2016). *VALOR ACTUAL NETO EN LOS PROYECTOS DE INVERSIÓN Y SU INCIDENCIA EN LA TOMA DE DECISIONES DE UNA EMPRESA*.
<http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/8749/1/ECUACE-2016-CA-CD00122.pdf>

Menéndez, A. M., & Marruedo, D. L. (2018). *Proyecto Fin de Máster Ingeniería Industrial*. 123.

Milián, E. H. G. (2012). “*LA TASA INTERNA DE RETORNO Y EL VALOR ACTUAL NETO COMO HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN FINANCIERA, EN PROYECTOS PARA PLANTACIONES DE MADERA TECA.*” 141.

Parlá. (2011). *Brayan Parlá Moreno.pdf*.
<https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/1458/Brayan%20Parl%c3%a1%20Moreno.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Planas. (2020). *¿Qué es la energía solar fotovoltaica flotante?* <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/energia-solar-fotovoltaica-flotante>

- Puga, T., Amparo, A., & Jaramillo, I. (2015). *SEGUNDO PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGISTER*. 157.
- Ragheb. (2017). *LCOE, costo de electricidad nivelado también conocido como LEC, costo de energía nivelado*. DS New Energy. <http://www.dsisolar.com/info/lcoe-levelized-cost-of-electricity-also-know-33965670.html>
- Rivero. (2015). *Conexión de Parques Fotovoltaicos a la red de 34.5 kV en la provincia de Cienfuegos*.
<https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/3189/Pedro%20Luis%20Rivero%20Yera.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Roca. (2017). *Las 10 mayores plantas de fotovoltaica flotante del mundo*.
<https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-de-fotovoltaica-flotante-del-mundo/>
- Sáez, V. J. A., Jullian, S. B., Paiva, R. C., & González, R. F. (2017). *ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PARQUE FOTOVOLTAICO FLOTANTE EN DEPÓSITOS DE RELAVE EN LA ZONA CENTRO-NORTE DE CHILE*. 102.
- Sal&Roca. (2019). *Así es la planta solar flotante más grande del mundo construida en China*.
Sal&Roca. <https://www.salyroca.es/articulo/vida-eco/asi-es-planta-solar-flotante-mas-grande-mundo-construida-china/20191204202043006276.html>

- Sánchez. (2012). *TFG_David_Sanchez_Quiroga.pdf*.
https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/16839/TFG_David_Sanchez_Quiroga.pdf
- Schneider Electric. (2014). *Invertergt-500-and-gt-500-mvx-datasheet-20141002_eng.pdf*.
- SERIS. (2018a). *Floating-Solar-Market-Report-Executive-Summary.pdf*.
- SERIS. (2018b). *Floating-Solar-Market-Report-Executive-Summary.pdf*.
<http://documents1.worldbank.org/curated/en/579941540407455831/pdf/Floating-Solar-Market-Report-Executive-Summary.pdf>
- SMARTGRIDSINFO. (2015). *Generación de energía eléctrica en el mundo durante 2014* • SMARTGRIDSINFO. SMARTGRIDSINFO.
<https://www.smartgridsinfo.es/2015/09/07/generacion-de-energia-electrica-en-el-mundo-durante-2014>
- SolarPlaza. (2016). *Solarplaza Floating Solar Plants: Niche Rising to the Surface?*
<https://www.solarplaza.com/channels/top-10s/11634/floating-solar-plants-niche-rising-surface/>
- Spatuzza. (2015). *Ciel et Terre/Sunlution secure funds for Brazilian floating PV | Recharge*. Recharge | Latest Renewable Energy News. <https://www.rechargenews.com/solar/ciel-et-terre-sunlution-secure-funds-for-brazilian-floating-pv/1-1-868176>
- Tiempo. (2018). *En Guanaja protestan por los “abusos” de la empresa que les da el servicio eléctrico*. Tiempo.hn | Noticias de última hora y sucesos de Honduras. Deportes, Ciencia y Entretenimiento en general. <https://tiempo.hn/437991-2/>

Urbina, M. (2018). *Cobertura de Energía Eléctrica en Honduras-2004*. 35.

Vicente, V. (2017). Componentes de un sistema de energía solar fotovoltaico. *Sun Supply*.

<https://www.sunsupplyco.com/componentes-de-un-sistema-de-energia-solar/>

VINCI. (2019). *La electricidad solar en el agua, solución de futuro frente a la escasez de suelo disponible*. The Agility Effect. [https://www.theagilityeffect.com/es/article/plantas-solares-](https://www.theagilityeffect.com/es/article/plantas-solares-flotantes-una-solucion-al-problema-del-suelo/)

[flotantes-una-solucion-al-problema-del-suelo/](https://www.theagilityeffect.com/es/article/plantas-solares-flotantes-una-solucion-al-problema-del-suelo/)

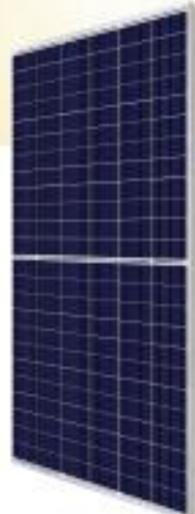
Wegeneve. (2019). Home. *PVsystem*. <https://www.pvsyst.com/>

ANEXOS

Anexo 1-Especificaciones Técnicas de los Módulos Solares







HiKu

SUPER HIGH POWER POLY PERC MODULE
395 W ~ 415 W
CS3W-395 | 400 | 405 | 410 | 415P

MORE POWER

-  24 % more power than conventional modules
-  Up to 4.5 % lower LCOE
Up to 2.7 % lower system cost
-  Low NMDT: 42 ± 3 °C
Low temperature coefficient (Pmax): -0.37 % / °C
-  Better shading tolerance

MORE RELIABLE

-  Lower internal current, lower hot spot temperature
-  Cell crack risk limited in small region, enhance the module reliability
-  Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 3600 Pa



25
years

linear power output warranty



10
years

product warranty on materials and workmanship

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2015 / Quality management system
 ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system
 OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE / CEC AU
 IEC61701: IEC 61701 / IEC62716: VDE
 UL 1703: CSA
 Take-a-way







* We can provide the product with special IEC61215 specifically certified with salt mist and ammonia tests. Please talk to our local technical sales representatives to get your customized solutions.

CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in IHS Module Customer Insight Survey. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 30 GW deployed around the world since 2001.

ANEXO 1-ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS INVERSORES

Why choose GT500 and GT500 MVX?



True bankability

- Warranty from a trusted partner with 178 years of experience
- World leader in industrial power drives, UPS and electrical distribution
- Strong service infrastructure worldwide to support your global needs



Higher return on investment

- Ultra-efficient design with CEC efficiency of 97%
- Reduced system costs thank to outdoor installation
- Enhanced reliability through segregation of sensitive electronics and power components



Designed for reliability

- Undergone extensive safety, quality and reliability testing



Flexible

- PV Box solution with multiple inverters and medium voltage remote monitoring and control options
- Ontario FIT compliant available



Easy to service

- Sub-array string monitoring
- Remote monitoring and control options
- Comprehensive Schneider Electric service network to ensure rapid response when issues arise
- Alarms and troubleshooting tools allow for remote detection and analysis of issues before arriving on site



Easy to install

- Integrated ground fault detection and interruption
- Includes AC and DC disconnects
- Designed for fork lift or sling transportation
- Back and sides of unit designed for zero clearance installations to minimize inverter space requirements

Product applications



Commercial grid-tie centralised

solar.schneider-electric.com



GT500 MVX

ONTARIO FIT COMPLIANT 



GT500

ONTARIO FIT COMPLIANT 

Schneider
Electric

Device short name	GT500 480	GT500 600	GT500 MVX
Electrical specifications			
Input (DC)			
Input voltage range, MPPT	310 to 480 V	310 to 480 V	310 to 480 V
Max. input voltage, open circuit	600 V	600 V	600 V
Max. input current	1720 A	1720 A	1720 A
Max. input short circuit current	2150 A	2150 A	2850 A
DC backfeed current	0 A	0 A	0 A
Output (AC)			
Output voltage	480 V Delta	600 V Delta	208V (for direct connection to a medium voltage isolation transformer)
Frequency	60 Hz	60 Hz	60 Hz
Nominal output current	610 A	490 A	1400 A
AC current distortion	< 5% at rated power	< 5% at rated power	< 5% THD at rated power
Nominal Output power 50°C	500 kW	500 kW	500 KVA 45°C with derating to
Topology	Isolation transformer standard and integrated within the inverter enclosure (480 V and 600 V only)		
Efficiency			
Peak	96.9%	96.9	98% not including MV transformer
CEC weighted	96.0%	96.0	97% not including MV transformer
General specifications			
Power consumption, night time	336 W	336 W	< 161 W
NEMA degree of protection	Type 3R (outdoor rating)	Type 3R (outdoor rating)	Type 3R (outdoor rating)
Enclosure material	Zinc plated, highly reflective, powder coating finish		
Product weight	3103.0 kg (6840.0 lb)	3103.0 kg (6840.0 lb)	1587.0 kg (3499.0 lb)
Product dimensions (H x W x D)	224.0 x 463.8 x 108.7 cm (88.2 x 182.6 x 42.8 in)	224.0 x 463.8 x 108.7 cm (88.2 x 182.6 x 42.8 in)	224.0 x 228.6 x 126.0 cm (88.4 x 90.0 x 49.6 in)
Ambient air temperature for operation	-20°C to 50°C (-4°F to 122°F)		
Operating altitude	2000 m (6562 ft) without de-rating		
Relative humidity	0 to 95% non-condensing		
Part number	820-0076-01-01: GT500-480 Neg Gnd	820-0076-02-01: GT500-600 Ontario Fit Compliant	820-0150-01-01: GT500 MVX Neg Gnd with Power Factor
Control	820-0076-03-01: GT500-480 Pos Gnd		820-0150-02-01: GT500 MVX Neg Gnd with Power Factor and Power Limiting for
Control Ontario Fit	820-0150-04-01: GT500 MVX Pos Gnd with Power Factor Control 820-0150-05-01: GT500 MVX Neg Gnd with Power Factor		
Control	and Power Limiting non Ontario Fit		
Features and options			
Type of cooling	Forced convection cooling		
Display type	Standard bright fluorescent green Vacuum display		
Communication interface	RS485/Modbus communications interface kit included		
AC/DC disconnect	Standard and integrated within the inverter enclosure		
Ground fault detection/interruption	Standard and integrated within the inverter enclosure		
Sub-array combiner	Optional integrated with the inverter enclosure, 100 A 150 A or 200 A circuits		
Regulatory approvals			
Safety	CSA certified to UL1741 Ed. 2, CSA 107.1-01		

ANEXO 3-RESUMEN DE REPORTE PVSYST

PVSYST V6.87		20/08/20		Página 1/4				
Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación								
Proyecto : SmulaciónTesis1.3								
Sitio geográfico		Cayos Arriba	Pais	Honduras				
Ubicación		Latitud 18.49° N	Longitud	-85.85° W				
Tiempo definido como		Hora Legal Huso horario UT-6	Altitud	0 m				
Datos meteorológicos:		Cayos Arriba	PVGIS api TMY - TMY					
Variante de simulación : VsimulacionTesis1.3								
		Fecha de simulación	20/08/20 00h05					
Parámetros de la simulación		Tipo de sistema	No hay escenario 3D, no hay sombreados					
Orientación plano captador		Inclinación	15°	Acimut	0°			
Modelos empleados		Transposición	Perez	Difuso	Importado			
Horizonte		Sin horizonte						
Sombreados cercanos		Sin sombreado						
Necesidades del usuario :		Carga ilimitada (red)						
Características del conjunto FV								
Módulo FV		SI-poly	Modelo	CS3W-415P HE				
Base de datos PVsyst original		Fabricante	Canadian Solar Inc.					
Número de módulos FV		En serie	11 módulos	En paralelo	274 cadenas			
Número total de módulos FV		Núm. módulos	3014	Prom unitaria	415 Wp			
Potencia global del conjunto		Nominal (STC)	1251 kWp	En cond. de funciona.	1135 kWp (50°C)			
Caract. funcionamiento del conjunto (50°C)		U mpp	391 V	I mpp	2900 A			
Superficie total		Superficie módulos	6658 m²	Superficie célula	5981 m²			
Inversor		Modelo	GT 500-480					
Base de datos PVsyst original		Fabricante	Schneider Electric					
Características		Voltaje de funcionam.	310-480 V	Prom unitaria	500 kWac			
Paquete de inversores		Núm. de inversores	2 unidades	Potencia total	1000 kWac			
				Relación Prom	1.25			
Factores de pérdida del conjunto FV								
Factor de pérdidas térmicas		Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (viento)	0.0 W/m²K / m/s			
Pérdida óhmica en el Cableado		Res. global conjunto	2.2 mOhm	Fracción de pérdidas	1.5 % en STC			
Pérdida Calidad Módulo				Fracción de pérdidas	-0.3 %			
Pérdidas de "desajuste" Módulos				Fracción de pérdidas	1.0 % en MPP			
Pérdidas de "desajuste" cadenas				Fracción de pérdidas	0.10 %			
Efecto de incidencia, perfil definido por el usuario (IAM): Perfil personalizado								
15°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
1.000	1.000	1.000	0.990	0.990	0.970	0.920	0.760	0.000

Traducción sin garantía. Sólo el texto inglés está garantizado.

Sistema Conectado a la Red: Resultados principales

Proyecto : **SmulaciónTesis1.3**

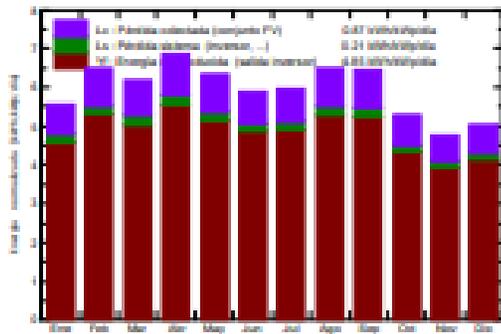
Variante de simulación : **VsimulacionTesis1.3**

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	No hay escenario 3D, no hay sombreados	
Orientación Campos FV	inclinación	15°	acimut 0°
Módulos FV	Modelo	CS3W-415P HE	Pnom 415 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	3014	Pnom total 1251 kWp
Inversor	Modelo	GT 500-480	Pnom 500 kW ac
Paquete de inversores	Núm. de unidades	2:0	Pnom total 1000 kW ac
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)		

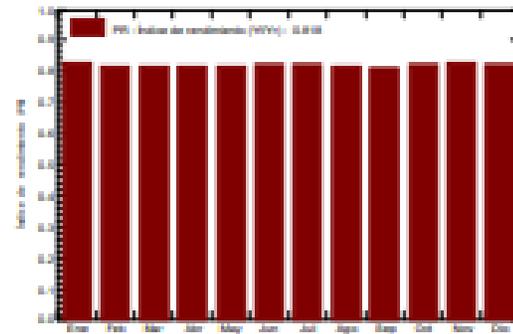
Resultados principales de la simulación

Producción del sistema	Energía producida	2216 MWh/año	Produc. específica 1772 kWh/kWp/año
	Índice de rendimiento (PR)	81.83 %	

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 1251 kWp



Índice de rendimiento (PR)



VsimulacionTesis1.3
Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
Enero	146.8	42.75	26.05	172.8	169.8	186.0	176.2	0.824
Febrero	161.7	37.77	25.91	182.0	179.2	193.5	185.5	0.815
Marzo	181.4	53.36	25.28	191.0	187.7	203.8	195.2	0.817
Abril	207.1	56.04	26.23	205.1	201.3	217.8	208.7	0.814
Mayo	206.8	77.04	28.39	196.3	192.2	208.3	199.7	0.814
Junio	190.5	69.80	27.35	176.8	171.0	189.8	182.0	0.823
Julio	196.6	78.70	27.49	184.6	180.8	197.7	189.6	0.821
Agosto	207.2	63.81	27.72	201.4	197.6	214.1	205.2	0.815
Septiembre	186.6	57.32	28.01	193.6	190.1	205.0	196.5	0.812
Octubre	151.5	67.19	26.99	163.2	159.9	175.1	167.8	0.822
Noviembre	125.4	46.06	26.07	143.0	140.4	154.1	147.6	0.825
Diciembre	130.5	37.52	26.30	155.7	151.0	167.0	160.1	0.822
Año	2094.1	688.27	26.82	2165.4	2125.2	2312.1	2216.2	0.818

Legenda: GlobHor Inradiación global horizontal GlobEff Global efectivo, corr. para IAM y sombreados
 DiffHor Inradiación difusa horizontal EArray Energía efectiva en la salida del conjunto
 T_Amb T amb. E_Grid Energía inyectada en la red
 GlobInc Global incidente plano receptor PR Índice de rendimiento

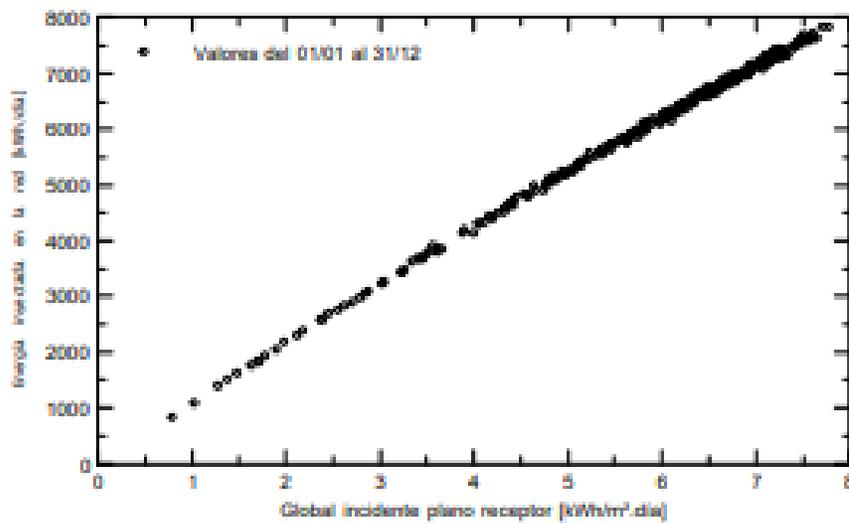
Sistema Conectado a la Red: Gráficos especiales

Proyecto : **SmulaciónTesis1.3**

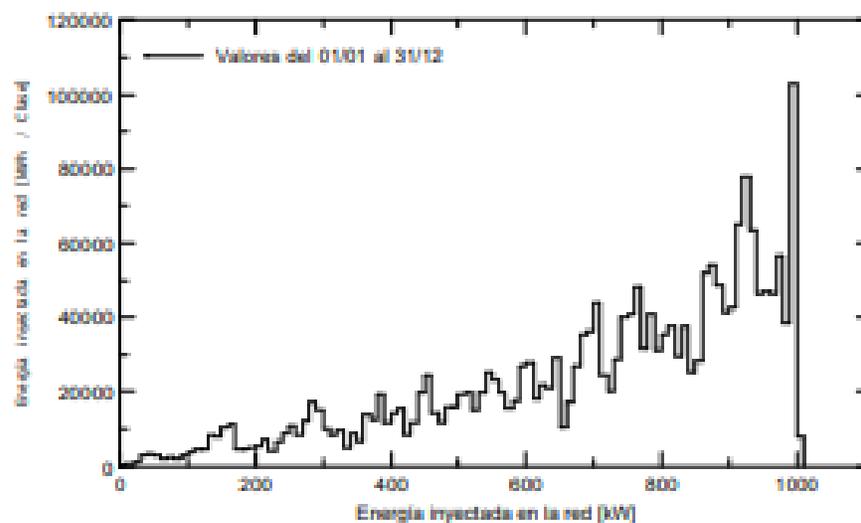
Variante de simulación : **VsimulaciónTesis1.3**

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	No hay escenario 3D, no hay sombreados	
Orientación Campos FV	Inclinación	15°	acimut 0°
Módulos FV	Modelo	CS3W-415P HE	Prom 415 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	3014	Prom total 1251 kWp
Inversor	Modelo	GT 500-480	Prom 500 kW ac
Paquete de inversores	Núm. de unidades	2:0	Prom total 1000 kW ac
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)		

Diagrama entrada/salida diaria



Distribución de la potencia de salida del sistema



Visualización sin garantía. Sólo el texto inglés está garantizado.

Sistema Conectado a la Red: Diagrama de pérdidas

Proyecto : **SmulaciónTesis1.3**

Variante de simulación : **VsimulacionTesis1.3**

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	No hay escenario 3D, no hay sombreados	
Orientación Campos FV	inclinación	15°	acimut 0°
Módulos FV	Modelo	CS3W-415P HE	Prom 415 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	3014	Prom total 1251 kWp
Inversor	Modelo	GT 500-480	Prom 500 kW ac
Paquete de inversores	Núm. de unidades	2.0	Prom total 1000 kW ac
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)		

Diagrama de pérdida durante todo el año

