

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS
RENOVABLES**

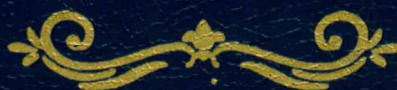


**“EVALUACIÓN DE PREFACTIBILIDAD DE UN SISTEMA HÍBRIDO
(SOLAR, BATERÍAS Y DIÉSEL) PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA
ELÉCTRICA DE LA AGROINDUSTRIA TERRA EN EL
DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE”**

Edson Henry Surco Quispe

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES**

ASESOR: M.Sc. Jhon Eduardo Abarca Suca



Juliaca, 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS
RENOVABLES



**“EVALUACIÓN DE PREFACTIBILIDAD DE UN SISTEMA HÍBRIDO
(SOLAR, BATERÍAS Y DIÉSEL) PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA
ELÉCTRICA DE LA AGROINDUSTRIA TERRA EN EL
DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE”**

Edson Henry Surco Quispe

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES

ASESOR: M.Sc. Jhon Eduardo Abarca Suca

Juliaca, 2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Surco, E. (2024). *Evaluación de prefactibilidad de un sistema híbrido (solar, baterías y diésel) para el suministro de energía eléctrica a la Agroindustria Terra en el departamento de Lambayeque. (Tesis de Pregrado)*. Universidad Nacional de Juliaca, Juliaca.

AUTOR: Edson Henry Surco Quispe.

TÍTULO: Evaluación de prefactibilidad de un sistema híbrido (solar, baterías y diésel) para el suministro de energía eléctrica a la Agroindustria Terra en el departamento de Lambayeque.

PUBLICACIÓN: Juliaca, 2024.

DESCRIPCIÓN: Cantidad de páginas (144 pp.)

NOTA: Tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables - Universidad Nacional de Juliaca.

CÓDIGO: 02-000025-02/S95

NOTA: Incluye Bibliografía

ASESOR: M. Sc. Jhon Eduardo Abarca Suca

PALABRAS CLAVE: BESS, Gestor energético, Grupo Electrónico Diésel, Helioscope, Homer Pro, Irradiancia solar, Sistema fotovoltaico.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS
RENOVABLES

**“EVALUACIÓN DE PREFACTIBILIDAD DE UN SISTEMA HÍBRIDO
(SOLAR, BATERÍAS Y DIÉSEL) PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA
ELÉCTRICA DE LA AGROINDUSTRIA TERRA EN EL
DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍAS
RENOVABLES**

Presentado por:

Edson Henry Surco Quispe

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

Dr. Henry Pizarro Viveros

PRESIDENTE DE JURADO

Dr. Ubaldo Yancachajlla Tito

JURADO (Secretario)

Mg. Armando Antonio Salinas Del Carpio

JURADO (Vocal)



Handwritten signature of Dr. Henry Pizarro Viveros, consisting of a large, stylized 'A' and 'P' with a horizontal line through them.

2° MIEMBRO



Handwritten signature of Dr. Ubaldo Yancachajlla Tito, appearing as a cursive 'U' followed by a stylized 'T'.

3° MIEMBRO



Handwritten signature of M.Sc. Jhon Eduardo Abarca Suca, featuring a large, flowing cursive signature.

M.Sc. Jhon Eduardo Abarca Suca

ASESOR DE TESIS

NOMBRE DEL TRABAJO

EVALUACIÓN DE PREFACTIBILIDAD DE UN SISTEMA HÍBRIDO (SOLAR, BATERÍA S Y DIÉSEL) PARA EL SUMINISTRO D

AUTOR

Edson Henry Surco Quispe

RECUENTO DE PALABRAS

26698 Words

RECUENTO DE CARACTERES

135917 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

144 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

7.0MB

FECHA DE ENTREGA

Jul 3, 2024 9:45 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jul 3, 2024 9:47 AM GMT-5**● 8% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 7% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)



M. SC. JHON E. ABARCA SUCA

DEDICATORIA

Dedicar este trabajo de tesis a mis padres Andres y Martha por darme todo el apoyo absoluto en mi formación académica y profesional, que, con sus valores inculcados me han permitido ser una persona con principios y valores, así mismo, agradezco por los consejos dados el cual han desarrollado en mi la resiliencia y la constancia de salir adelante llegando a cumplir uno de mis objetivos. A mi hermanita Yessica por sacarme siempre una sonrisa.

AGRADECIMIENTO

Ante todo, agradecer a Dios quien siempre está ahí presente para guiarnos por el camino correcto brindándonos vida, salud y fortaleza.

Así mismo, agradezco a la Universidad Nacional de Juliaca, a la Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables y a los docentes por los conocimientos y orientaciones profesionales dados en todo mi trayecto académico.

A los miembros de jurado Dr. Henry Pizarro Viveros, Dr. Ubaldo Yancachajlla Tito y al Mg. Armando Antonio Salinas Del Carpio, por su apoyo y sugerencias constructivas a mi persona. A mi asesor de tesis Mg. Jhon Eduardo Abarca Suca por la confianza, sus aportes y motivación brindada para el desarrollo de la tesis.

A todas mis amistades con las que compartí momentos inolvidables.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE ANEXOS	XIII
RESUMEN	XIV
ABSTRACT	XV
INTRODUCCIÓN	16
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.1 Descripción del problema.....	18
1.2 Formulación de preguntas	19
1.2.1 Problema general.....	19
1.2.2 Problemas específicos	19
1.3 Objetivos de la investigación	20
1.3.1 Objetivo general	20
1.3.2 Objetivos específicos	20
1.4 Justificación de la investigación.....	20
1.4.1 Justificación técnica	20
1.4.2 Justificación económica	21
1.4.3 Justificación social	21
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA	22
2.1 Antecedentes	22
2.1.1 Antecedentes internacionales	22
2.1.2 Antecedentes nacionales	23
2.2 Bases teóricas	23
2.2.1 Energía solar.....	23
2.2.2 Sistema híbrido con tecnología fotovoltaica, baterías y grupo electrógeno diésel	24
2.2.3 Energía eléctrica.....	25

2.2.4	Factores económicos	25
2.3	Marco conceptual	28
2.3.1	Energía solar fotovoltaica	28
2.3.2	Radiación solar	29
2.3.3	Irradiancia e irradiación	30
2.3.4	Horas de Sol Pico (HSP)	30
2.3.5	Sistema de generación de energía híbrida	31
2.3.6	Módulo fotovoltaico	34
2.3.7	Inversores fotovoltaicos	35
2.3.8	Sistema de almacenamiento de energía en baterías (BESS)	36
2.3.9	Características de los sistemas de almacenamiento (BESS)	38
2.3.10	Gestor energético	39
2.3.11	Grupo electrógeno (GE)	39
2.3.12	Software Helioscope y Homer Pro	41
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS		42
3.1	Formulación de hipótesis	42
3.1.1	Hipótesis general	42
3.1.2	Hipótesis específicas	42
3.2	Tipo y diseño de investigación	42
3.3	Población y muestra	43
3.4	Metodología	44
3.4.1	Análisis de datos del recurso solar	44
3.4.2	Recolección y cálculo de cargas	45
3.4.3	Desarrollo técnico del sistema híbrido	46
3.4.4	Modelado del sistema	50
3.4.5	Desarrollo de las métricas económicas	50
3.5	Descripción de instrumentos	52
3.6	Proceso de evaluación de prefactibilidad	53
3.7	Operacionalización de variables	54
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		55
4.1	Evaluación del recurso solar	55
4.2	Cálculo de la demanda de energía	63

4.3	Diseño del sistema híbrido	70
4.3.1	Inclinación	70
4.4	Dimensionamiento del sistema híbrido	71
4.4.1	Dimensionamiento del sistema fotovoltaico	71
4.4.2	Dimensionamiento del sistema BESS	73
4.4.3	Dimensionamiento del grupo electrógeno	75
4.4.4	Selección del sistema de control y comunicación	75
4.4.5	Simulación del Software Helioscope	80
4.4.6	Reporte de energía y perdidas	81
4.5	Optimización y simulación del Software Homer Pro.....	84
4.5.1	Introducción de datos	84
4.5.2	Demanda eléctrica	84
4.5.3	Configuración del sistema híbrido	85
4.5.4	Simulación del sistema híbrido	86
4.6	Cálculo de conductores y protecciones eléctricas en DC y AC	93
4.6.1	Cableado y protección del SFV.....	93
4.6.2	Cableado y protección AC del BESS.....	94
4.6.3	Cableado y protección AC del Grupo Electrógeno.....	95
4.7	Metrado y presupuesto del proyecto	95
4.8	Optimización del sistema híbrido.....	98
4.9	Evaluación económica.....	99
4.9.1	Costo del Sistema Híbrido	99
4.9.2	Flujo de caja del sistema híbrido.....	102
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		106
5.1	Conclusiones	106
5.2	Recomendaciones.....	108
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		109
ANEXOS		113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto fotovoltaico (Carta, Calero, Colmenar, & Castro, 2009).	29
Figura 2. Espectro de la radiación solar extraterrestre y AM1.5 (Mascarós, 2016).....	29
Figura 3. Horas Solares Pico (Montoya, 2019).	31
Figura 4. Minired dominada por máquinas rotativas multimaestro (Lopez, 2012).....	32
Figura 5. Arquitectura de una minired maestra de conmutación única (Lopez, 2012).	33
Figura 6. Minired dominada por inversores multimaestro (Lopez, 2012).	33
Figura 7. Curva I-V de un panel fotovoltaico (Pareja, 2016).....	35
Figura 8. Sistema BESS (Novum Solar, 2022).	37
Figura 9. Partes de un Grupo Electrónico (De Máquinas y Herramientas, 2015).....	40
Figura 10. Emplazamiento del Proyecto.	43
Figura 11. Proceso de la evaluación de prefactibilidad del sistema híbrido.	53
Figura 12. Irradiancia Global Horizontal promedio mensual por la fuente PVGIS.....	58
Figura 13. Irradiancia Global Horizontal promedio mensual por la fuente Meteonorm.....	59
Figura 14. Irradiancia Global Horizontal promedio mensual por la fuente NASA SEE.	61
Figura 15. Horas Solares Pico promedios mensuales por las 3 bases de datos.	61
Figura 16. Comparación de la Irradiancia Global Horizontal de las 3 fuentes usadas.....	62
Figura 17. HSP promedios, máximos y mínimos de la base del Meteonorm.	63
Figura 18. Perfil de potencia de la agroindustria en relación con las horas de funcionamiento durante el día.....	70
Figura 19. Módulo fotovoltaico TRINA SOLAR de 660 Wp.....	71
Figura 20. Inversor Solis, modelo S5-GC100K-HV.	73
Figura 21. Controlador ASC 150 Solar.	76
Figura 22. Export power manager EPM3-5G-PLUS.	78
Figura 23. Controlador ASC 150 Storage.	79

Figura 24. Controlador AGC-4 MkII.	80
Figura 25. Elección del módulo e inversor solar del SFV de 232.3 kWp.	81
Figura 26. Selección de datos meteorológicas en el software Helioscope.	82
Figura 27. Métricas del sistema fotovoltaico de 232.3 kWp.	82
Figura 28. Reporte de producción mensual de energía del SFV de 232.3 kWp.	83
Figura 29. Reporte de fuentes de pérdida del sistema fotovoltaico de 232.3 kWp.	83
Figura 30. Introducción de la carga eléctrica en el Homer Pro.	85
Figura 31. Configuración del sistema híbrido.	85
Figura 32. Simulación de las curvas de potencia del RVS228-C.	86
Figura 33. Salida de potencia del RVS228-C durante los días del año.	87
Figura 34. Características de consumo del combustible del RVS228-C.	87
Figura 35. Importación de datos del SFV modelado en el Helioscope al Homer Pro.	88
Figura 36. Simulación de las curvas de potencia de salida del SFV en el Homer Pro.	89
Figura 37. Potencia de salida máxima anual del sistema fotovoltaico.	89
Figura 38. Simulación de curvas carga y descarga del CO150K-300E.	90
Figura 39. Energía almacenada en el sistema BESS CO150K-300E durante el año.	91
Figura 40. Producción eléctrica mensual del sistema de generación del sistema híbrido.	92
Figura 41. Simulación del sistema híbrido (SFV, BESS y Grupo Electrónico).	92
Figura 42. Optimización del sistema híbrido en el Homer Pro.	99
Figura 43. Costo Neto Presente anualizado del sistema híbrido en Homer Pro.	100
Figura 44. Flujo de caja del sistema propuesto en el Homer Pro.	102
Figura 45. Flujo de caja del sistema caso base y propuesto.	103
Figura 46. Flujo de caja acumulado en caso base y propuesto en el Homer Pro.	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Parámetros ambientales del lugar de emplazamiento.</i>	44
Tabla 2 <i>Técnicas e instrumento.</i>	52
Tabla 3 <i>Operacionalización de variables.</i>	54
Tabla 4 <i>Características de las bases de datos de obtención del recurso solar.</i>	55
Tabla 5 <i>Procesamiento de datos de irradiancia horizontal mensual del PVGIS.</i>	57
Tabla 6 <i>Procesamiento de datos de irradiancia horizontal mensual del Meteonorm.</i>	59
Tabla 7 <i>Procesamiento de datos de irradiancia horizontal mensual del NASA SEE.</i>	60
Tabla 8 <i>Comparación de la Irradiancia Global Horizontal de las 3 fuentes usadas.</i>	62
Tabla 9 <i>Cuadro de cargas de la zona del campamento de la agroindustria.</i>	64
Tabla 10 <i>Cuadro de cargas de la zona operativa de la agroindustria.</i>	64
Tabla 11 <i>Cuadro de carga general de la agroindustria.</i>	65
Tabla 12 <i>Características del equipamiento de las cargas.</i>	66
Tabla 13 <i>Características del equipamiento de las cargas en condición de arranque y operación.</i>	67
Tabla 14 <i>Consumo de energía mensual de las cargas.</i>	68
Tabla 15 <i>Comparación de la energía mensual (durante el día y noche).</i>	69
Tabla 16 <i>Características eléctricas del módulo fotovoltaico TRINA SOLAR 660 Wp.</i>	72
Tabla 17 <i>Características eléctricas del inversor Solis, modelo S5-GC100K-HV.</i>	73
Tabla 18 <i>Características eléctricas del sistema BESS CO150K-300E.</i>	74
Tabla 19 <i>Parámetros eléctricos del grupo electrógeno Rivera Diésel.</i>	75
Tabla 20 <i>Equipos de control y medición del sistema híbrido.</i>	76
Tabla 21 <i>Parámetros eléctricos del controlador ASC 150 SOLAR.</i>	77
Tabla 22 <i>Parámetros eléctricos del Solis Export Manager EPM3-5G-PLUS.</i>	78
Tabla 23 <i>Parámetros eléctricos del controlador ASC 150 STORAGE.</i>	79

Tabla 24 <i>Parámetros eléctricos del controlador AGC-4 Mk-II.</i>	80
Tabla 25 <i>Cálculo de sección de los conductores de cada Combiner Box del sistema FV.</i>	93
Tabla 26 <i>Metrado y costo de suministro del sistema fotovoltaico de 232.2 kWp.</i>	96
Tabla 27 <i>Metrado y costo de suministro del sistema BESS CO150K-300E.</i>	97
Tabla 28 <i>Metrado y costo del suministro del Grupo Electrónico RVS228-C.</i>	97
Tabla 29 <i>Resumen del costo total del sistema híbrido.</i>	98
Tabla 30 <i>Actividades del mantenimiento preventivo del sistema híbrido.</i>	100
Tabla 31 <i>Actividades del mantenimiento correctivo del sistema híbrido.</i>	101
Tabla 32 <i>Flujo acumulado del sistema caso base y del propuesto.</i>	104
Tabla 33 <i>Resumen de la evaluación económica de los sistemas simulados en el Homer Pro.</i>	107

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Procesamiento de datos del GHI promedio mensual de las 3 bases de datos.....	113
Anexo 2. Simulación del comportamiento del sistema híbrido en el Homer Pro.	123
Anexo 3. Simulación del sistema fotovoltaico en el software Helioscope.	125
Anexo 4. Cotización de los módulos fotovoltaicos, inversor y accesorios.	126
Anexo 5. Cotización del gestor energético DEIF.....	127
Anexo 6. Cotización de estructuras y BESS.	128
Anexo 7. Cotización del grupo electrógeno.	129
Anexo 8. Ficha técnica del módulo fotovoltaico Trina Solar de TSM-DE21 660W.	130
Anexo 9. Ficha técnica del inversor solar Solis S5-GC100K-HV.	132
Anexo 10. Layout de la estructura solar Hopergy.....	134
Anexo 11. Ficha técnica del sistema BESS EverExceed CO150K-300E.	135
Anexo 12. Ficha técnica del GE Rivera Diésel RVS228-C.	137
Anexo 13. Ficha técnica de la electrobomba sumergible 70 HP.....	139
Anexo 14. Ficha técnica del gestor energético DEIF ASC-150 Solar.	140
Anexo 15. Ficha técnica del gestor energético DEIF ASC-150 Storage.....	141
Anexo 16. Ficha técnica del gestor energético DEIF AGC-4 Mk-II.....	142
Anexo 17. Diagrama Unifilar del Sistema Híbrido (SFV, BESS y Grupo electrógeno).	143
Anexo 18. Diagrama Distribución del Sistema Híbrido.....	144

RESUMEN

El presente proyecto comprende la evaluación de prefactibilidad de un sistema híbrido (solar, baterías y diésel) para el suministro de energía a la agroindustria Terra. La investigación utilizada es descriptiva y aplicada, la muestra está relacionado a las cargas de la agroindustria y el recurso solar. Se emplearon los softwares de modelamiento como el Helioscope y Homer Pro. Se usó la base de datos del Meteonorm, donde se tiene un promedio máximo de irradiancia $686.36 \text{ W/m}^2/\text{día}$ con 6.23 HSP promedio. El SFV tiene una potencia pico de 232.3 kWp y una potencia nominal de 200 kW, según la simulación del software Helioscope el SFV tiene un Performance Ratio del 82.6% con una producción energética de 1702.6 kWh/kWp, para su mejor maximización de energía esta cuenta con un EPM3-5G-PLUS y un gestor energético ASC 150 Solar, mientras que el BESS CO150K-300E tiene una capacidad de almacenamiento de 300 kWh con potencia de descarga de 150 kW, su aplicación es de respuestas rápidas ante cambios de demanda de energía, su comunicación con los demás sistemas es mediante el ASC 150 Storage, luego el GE diésel RVS228-C opera en modo Prime con una potencia nominal de 208 kW, el Mk-II maximizará su operación y se comunicara con los demás sistemas para una mejor gestión de energía, por lo que el SFV aporta un 29.2% y el GE aporta un 70.8% de la energía total generada. Finalmente, se realizó la evaluación económica del sistema híbrido por 25 años de vida útil, donde el Homer Pro determino que el VAN del sistema híbrido es \$3,793,574.00, el CAPEX es \$321,648.90 y OPEX de \$235,346.20 donde el LCOE es \$0.235 kWh, obteniéndose un ROI del 28%, TIR del 33% con un payback de 3.1 años. Por lo que la viabilidad de esta evaluación de prefactibilidad es óptima.

Palabras claves: BESS, Gestor energético, Grupo Electrógeno Diésel, Helioscope, Homer Pro, irradiancia solar, Sistema fotovoltaico.

ABSTRACT

This project consists of the pre-feasibility evaluation of a hybrid system (solar, batteries and diesel) for the supply of energy to the Terra agroindustry. The research used is descriptive and applied, the sample is related to the loads of the agroindustry and the solar resource. Modeling software such as Helioscope and Homer Pro were used. The Meteonorm database was used, where there is an average maximum irradiance of $686.36 \text{ W/m}^2/\text{day}$ with 6.23 average HSP. The SFV has a peak power of 232.3 kWp and a nominal power of 200 kW, according to the Helioscope software simulation the SFV has a Performance Ratio of 82.6% with an energy production of 1702.6 kWh/kWp, for its best energy maximization it has an EPM3-5G-PLUS and a Solar ASC 150 energy manager, while the BESS CO150K-300E has a storage capacity of 300 kWh with a discharge power of 150 kW, its application is quick responses to changes in energy demand, its communication with other systems is through the ASC 150 Storage, then the GE diesel RVS228-C operates in Prime mode with a nominal power of 208 kW, the Mk-II will maximize its operation and communicate with other systems for better energy management, so the SFV contributes 29.2% and the GE the 19.7%. 70.8% of the total energy generated. Finally, the economic evaluation of the hybrid system was carried out for 25 years of useful life, where Homer Pro determined that the NPV of the hybrid system is \$3,793,574.00, the CAPEX is \$321,648.90 and OPEX is \$235,346.20 where the LCOE is \$0.235 kWh, obtaining an ROI of 28%, IRR of 33% with a payback of 3.1 years. Therefore, the viability of this pre-feasibility evaluation is optimal.

Keywords: BESS, Energy Manager, Diesel Generator, Helioscope, Homer Pro, Solar Irradiation, Photovoltaic System

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se ha visto un paulatino aumento del uso de grupos electrógenos (GE) como generación de energía en lugares que no cuenta con acceso a la red, esto se debe a varios factores, entre los cuales destaca no tener una buena infraestructura eléctrica en la zona o por las dificultades de acceso, lo que conlleva al uso de esta fuente de energía convencional, la generación de energía con los GE puede tener impactos económicos muy altos en su operación, donde la fuente principal es el combustible diésel, este combustible puede ser variable en términos de costos en un corto o largo plazo debido a los factores económicos, políticos y regulatorios. Aunque los GE tienen la ventaja de proporcionar energía constante y estable, su dependencia del diésel los hace más costosos.

El sector agroindustrial es clave en la economía mundial, donde la energía desempeña un rol fundamental en los procesamientos de sus productos. Ante ello la Agroindustria Terra requiere de un suministro de energía eléctrica que abastezca las cargas del campamento y operación de manera fiable y constante, donde el consumo de las cargas es de 169.5 kW y su demanda máxima es de 189.9 kW, esta carga es parte de una nueva área de 1,007,160.21 m² el cual se encuentra la zona de campamento y operación. En ese contexto, los sistemas híbridos conformado por sistema fotovoltaico (SFV), almacenamiento de energía en baterías (BESS) y grupos electrógenos (GE) surgieron como una alternativa adecuada y viable para satisfacer las necesidades energéticas del sector, reduciendo la operación del GE y por ende la dependencia del combustible fósil. Estos sistemas brindan soluciones más viables, tanto técnicas, económicas y ambientales, ya que combinan distintas fuentes de generación convencional y no convencional. Hoy en día los sistemas fotovoltaicos presentan una alta demanda de crecimiento, debido a sus bajos costos operativos y accesibilidad, sin embargo, los SFV presentan intermitencias en su producción de energía debido a la variabilidad del recurso solar, para ello los sistemas BESS emergen como una solución complementaria, estos sistemas almacenan energía por los excedentes generador del SFV, y son liberadas de acuerdo con el tipo de aplicación.

A todo ello el Perú cuenta con una variabilidad de recursos renovables aprovechables, donde destaca el recurso solar con un potencial de 25,000.00 MW. Este recurso solar se presenta más en la parte sur, seguido del norte del Perú. El promedio anual del recurso es de 4 a 5 kWh/m²/día, lo que hace atractivo la utilización e integración de los SFV en sistemas híbridos

que son comandados por los GE. Los objetivos de esta investigación tienen como propósito evaluar técnica y económicamente la hibridación de sistemas de generación renovable y GE con sistemas BESS, de modo que se analiza el impacto en la reducción de uso de combustible con y sin fuentes de generación renovable, además un factor importante es el estudio económico del sistema de generación híbrida evaluando el CAPEX y OPEX.

Finalmente, el presente documento está estructurado en 5 capítulos. En el Capítulo I, se refiere y expone el planteamiento del problema, objetivos generales y específicos, y por último las justificaciones. Respecto al Capítulo II, se presentan los antecedentes y se revisan los marcos teóricos de la investigación, el cual se sustenta para explicar el análisis de las bases o fuentes de datos del recurso solar, componentes de los sistemas híbridos y variables económicas relacionados a la investigación. En el Capítulo III, se da a conocer la formulación de hipótesis general y específicas, y se explica el procesamiento de datos de la carga, irradiancia solar y se realizan las simulaciones del SFV en el Helioscope y optimizaciones del sistema híbrido en el Homer Pro tomando en consideración los equipos hallados. En el Capítulo IV, se presentan los resultados donde se analiza el comportamiento de las cargas del cliente y se desarrolla la simulación adecuada de los sistemas que conforman el sistema fotovoltaico, mientras que el Homer Pro se realiza el análisis económico determinando su viabilidad. Seguidamente, en el Capítulo V, se da a conocer las conclusiones técnicas como económicas, los cuales se aportan algunas recomendaciones para futuras investigaciones.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

El consumo de energía eléctrica en el mundo ha estado incrementando de manera exponencial en diferentes países y sectores industriales el cual siguen haciendo uso de fuentes de energía convencional, dentro de ello el sector agroindustrial va teniendo una creciente demanda en el consumo de energía, donde el acceso limitado impacta directamente a la productividad, esto debido a las grandes áreas de expansiones de sus campos de cultivo. El acceso a la energía en este sector supone un desafío en muchos lugares, especialmente en sitios rurales donde existe carencia de infraestructura eléctrica lo cual ante la necesidad utilizan y dependen de otras fuentes de energía, como grupos electrógenos abastecidos por combustibles fósiles. Según SEFORALL (2022), menciona que las agroindustrias tienen un consumo del 30% de energía del mundo, el cual la mayor parte se fundamenta en combustibles fósiles.

Durante los últimos años en América latina países como Brasil, Argentina, Venezuela y Perú presentaron un aumento en la demanda de energía esto debido al crecimiento de la industrialización del país. Donde el sector Agroindustrial tuvo un aumento de productividad y demanda de energía. En la actualidad existen Agroindustrias que cuentan como suministro la red eléctrica o con grupos electrógenos esto debido a su ubicación geográfica donde el acceso de energía es condicionada o inexistente, otros factores por el uso de esta fuente son debido a la fiabilidad del suministro eléctrico donde existen fluctuaciones de voltaje, etc. Según Jiménez (2023), indica que la demanda de combustibles para la producción de energía en el sector agroindustrial aumento en un 8% en 2022 y se espera un aumento gradual para los próximos años. Por ello el sector agroindustrial juega un rol importante para el desarrollo de América Latina y es necesario promover fuentes de generación renovable y aplicaciones o integraciones como la hibridación de diferentes tecnologías como la fotovoltaica, almacenamiento de energía y grupos electrógenos.

Actualmente, el Perú cuenta con diferentes empresas agroindustriales que utilizan electricidad y combustibles fósiles como fuentes de energía. Según el MEM (s.f.) el consumo de energía en la agroindustria es 86% electricidad y 14% combustibles fósiles operados por grupos electrógenos, dentro del último porcentaje mencionado se encuentra la agroindustria

Terra el cual por su ubicación geográfica no cuenta con infraestructura eléctrica por lo que hacen uso de grupos electrógenos para suplir su carga eléctrica, sin embargo ante la ampliación de terrenos esta contará con cargas que tendrán una mayor demanda de energía aumentando la capacidad de potencia, ante ello se promueve el uso de sistemas híbridos como la tecnología fotovoltaica con almacenamiento de energía y el grupo electrógeno, compensando los consumos de energía y permitiendo la disminución gradual del combustible fósil, precisar que al contar con un grupo electrógeno esta puede actuar como un sistema de respaldo o actuando a potencia mínima reduciendo el consumo del combustible.

Al respecto conviene decir que actualmente los sistemas de hibridación son confiables ya que permite alternar diferentes fuentes garantizando un suministro eléctrico constante, hoy en día las hibridaciones más comunes son PV-GENSET el cual hacen uso de grupos electrógenos y sistemas fotovoltaicos, cuyos precios son competitivos por cada kW instalado y tienen la ventaja de actuar como una generación más descentralizada y que estas pueden ubicarse el cualquier tipo de terreno u área de operación de la agroindustria, al mismo tiempo, contribuiría en la reducción gradual del uso de combustible fósil y reduciría los costos asociados en generación de energía. Estos sistemas que cuentan con configuración híbrida sean grupos electrógenos, sistemas fotovoltaicos y sistemas de almacenamiento de baterías incorporan un sistema de monitorización que detecta cuál es la fuente emisora de energía óptima en cada momento del día garantizando así la confiabilidad, seguridad y resiliencia del suministro de energía.

1.2 Formulación de preguntas

1.2.1 Problema general

¿Será viable la implementación de un sistema híbrido (solar, baterías y diésel) a nivel de prefactibilidad para el suministro de energía a la agroindustria Terra en el departamento de Lambayeque?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Qué cantidad de recurso solar se tendrá para la operación de un sistema híbrido (solar, baterías y diésel) a nivel de prefactibilidad para el suministro de energía eléctrica a las cargas del campamento y operación de la agroindustria Terra en el departamento de Lambayeque?

- ¿Es técnicamente viable la implementación de un sistema híbrido (solar, baterías y diésel) para el suministro de energía eléctrica a las cargas del campamento y operación de la agroindustria Terra en el departamento de Lambayeque?
- ¿Será viable económicamente la implementación de un sistema híbrido (solar, baterías y diésel) para el suministro energía eléctrica de las cargas del campamento y operación de la agroindustria Terra en el departamento de Lambayeque?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Evaluar la prefactibilidad de un sistema híbrido (solar, baterías y diésel) para el suministro de energía eléctrica de la agroindustria Terra en el departamento de Lambayeque.

1.3.2 Objetivos específicos

- Analizar el recurso solar en la zona de operación de la agroindustria Terra en el departamento de Lambayeque.
- Dimensionar y modelar técnicamente un sistema híbrido (solar, baterías y diésel) para el suministro de energía eléctrica a las cargas del campamento y operación de la agroindustria Terra en el departamento de Lambayeque.
- Analizar la evaluación económica de un sistema híbrido (solar, baterías y diésel) para el suministro de energía eléctrica de las cargas del campamento y operación de la agroindustria Terra en el departamento de Lambayeque.

1.4 Justificación de la investigación

1.4.1 Justificación técnica

Los sectores agroindustriales cuentan con alta demanda de energía y por ende requieren de un suministro de energía eléctrica confiable. Actualmente existen sectores que están ubicados en zonas rurales donde el suministro eléctrico es inexistente o no genera fiabilidad eléctrica, y hoy por hoy se siguen haciendo uso de grupos electrógenos para satisfacer sus necesidades energéticas. La dependencia total afecta que los costos sean elevados debido al consumo del combustible y mantenimiento que se le deba de dar. Es importante dejar claro que los avances tecnológicos en energías renovables han evolucionado de manera positiva, uno de ellos es el recurso solar, este recurso en el Perú

es potencialmente aprovechable y el departamento de Lambayeque no es ajeno a ello ya que cuenta con este recurso y es una alternativa para hibridar y contar con suministro de energía en zonas remotas donde hacen uso de grupos electrógenos. El análisis y evaluación de sistemas híbridos (solar, baterías y diésel) para la generación de energía cumplen un rol importante en el sector ya que cuenta con hibridación de tecnología fotovoltaica, almacenamiento de energía en batería y un grupo electrógeno que garantizaran el suministro de energía las 24 horas del día, cubriendo parte de sus necesidades energéticas.

1.4.2 Justificación económica

Los sistemas híbridos que combinan sistemas fotovoltaicos con almacenamiento de energía en baterías (BESS) y grupos electrógenos ofrecen ahorros significativos a largo plazo. Las tecnologías como la fotovoltaica en la actualidad cuentan con costos accesibles por cada kWp instalado, mientras que para los BESS los costos asociados se dan por cada kWh de energía almacenada y esta dependerá del tipo de aplicación como por ejemplo la optimización de energía, para ambos casos los costos de inversión inicial son elevados pero que a largo plazo son rentables y respecto al grupo electrógeno, tienen un costo inicial bajo pero que con los costos de O&M tienden a ser elevados. En consecuencia, la hibridación permite centrar los costos, permitiendo extender la vida útil de los componentes y propiamente ser viable económicamente.

1.4.3 Justificación social

Los proyectos de generación híbrida permitirán el buen desempeño del sector y dará acceso a que otros sectores industriales que estén haciendo uso de grupos electrógenos como fuente principal de energía, evalúen estos sistemas híbridos que contemplen tecnologías como la fotovoltaica, BESS y grupos electrógenos a diésel, con la finalidad de disminuir los costos y operación del grupo de tal manera que el porcentaje de operación del grupo reduzca y a medida que avance el tiempo se independice de estas fuentes de generación convencional. Así mismo, abrirá la brecha para puestos de empleo fomentando el desarrollo en el departamento y brindando información sobre este tipo de soluciones sostenibles energéticas.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes

2.1.1 Antecedentes internacionales

Según Undurraga (2019), en su estudio titulado “Implementación y evaluación de un sistema híbrido (solar -diésel) en la ciudad de Barcelona del país de España”, tuvo como objetivo general simular la operación de una instalación híbrida solar-diésel mediante el uso de un controlador desarrollado en Matlab. La muestra estuvo constituida por un grupo electrógeno al cual se incorpora un sistema fotovoltaico. El diseño que se utilizó fue un diseño no experimental cuantitativo, donde los resultados obtenidos fue la importancia del proyecto para demostrar la adaptabilidad de estos sistemas en regiones aisladas de la red, así como del algoritmo desarrollado para estudiar el impacto de estas instalaciones, en especial, en regiones con alta irradiancia solar y precios en combustibles fósiles con un acceso limitado a la energía eléctrica.

Según Reyes y Osorio (2018), realizaron un estudio de “Implementación de un sistema híbrido solar fotovoltaico – diésel en la municipalidad de puerto lempira, gracias a Dios, honduras”, el objetivo general del estudio fue analizar la viabilidad técnica y económica de la implementación de un sistema de generación híbrido solar fotovoltaico - diésel en la municipalidad de Puerto Lempira para ELEESA el cual posee un sistema compuesto por un grupo electrógeno diésel de 500kW instalados con una generación en promedio de cuatro horas por día, a un precio de venta de energía de 14 L/kWh (0.58 \$/kWh). El diseño que se utilizó fue con enfoque cualitativo y cuantitativo. Las simulaciones del Homer Pro indican que, con la implementación del sistema híbrido, se disminuyen los costos por consumo de combustible, que se reducen el costo de producción de energía comparado con un sistema 100% diésel. El costo de producción de energía para el sistema híbrido es 0.369 \$/kWh considerando únicamente gastos asociados a generación, y para reducir el tiempo de retorno de inversión del proyecto, se sugirió un precio de venta de energía de 0.55 \$/kWh.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Según García (2019), realizó un estudio titulado “Optimización con el software HOMER de un sistema eléctrico con energía renovable en el centro poblado Santa Mercedes de Pillingue en el distrito de Balsa Puerto-Loreto” el objetivo general del estudio fue optimizar con el software HOMER un sistema con energías renovables en el centro poblado Santa Mercedes de Pillingue. Donde se tuvo como muestra el centro poblado Santa Mercedes de Pillingue para 44 viviendas proyectas y 01 local comunal. El diseño que se utilizó fue no experimental con investigación tipo aplicada. El instrumento utilizado fue el software HOMER. Y los resultados obtenidos según la optimización tienen el siguiente equipamiento: 48 paneles fotovoltaicos de la marca Jinko de 275 Wp, 16 baterías de la marca Trojan de 205 A.h, 01 inversor de 6 kW, 04 controladores 150/70 de la marca Victron Energy. La alternativa seleccionada (fotovoltaica) tiene un costo referencial de S/. 255,017.12.

Según Huaman (2022), en su investigación “Análisis de sistemas mixtos de generación para reducir el alto consumo de energía eléctrica en el Instituto Regional de Mármol de Junín, 2021”, el objetivo general del estudio fue analizar los sistemas mixtos de generación en el Instituto Regional de Mármol de Junín, con el propósito de reducir el alto consumo de energía eléctrica y disminuir la energía contratada por la red eléctrica. La muestra estuvo constituida por el Instituto Regional de Mármol de Junín. El diseño usado fue no experimental con investigación sistemática. El instrumento utilizado fue software Homer pro. El resultado obtenido fue dimensionar un sistema mixto eólico, fotovoltaico y red, concluyendo que es viable el uso de las tecnologías en mención. El software Homer pro estableció la participación de las tecnologías como 65.4 % fotovoltaica, 33.2 % de la red eléctrica y 1.32 % eólica. El recupero de la inversión serían en 15 años el cual sería menos si bajan los costos de operación, mantenimiento y reemplazo de las tecnologías propuestas.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Energía solar

Es un recurso inagotable y aprovechable, hoy en día este recurso es muy utilizado para la producción de energía, el cual el mayor aprovechamiento se da con el uso de celdas

o módulos solares que se encargan de captar la irradiancia solar proveniente del sol. En ese contexto “es un tipo de energía renovable que se obtiene luego de la captación de radiaciones electromagnéticas provenientes del sol. Esta puede provocar reacciones químicas o generar electricidad” (OSINERGMIN, 2019, pág. 24).

2.2.2 Sistema híbrido con tecnología fotovoltaica, baterías y grupo electrógeno diésel

Un sistema híbrido que combina un SFV con BESS y un grupo electrógeno es una solución energética versátil que puede proporcionar electricidad de manera continua y confiable en diversas condiciones. La hibridación de estas tecnologías permite una mejor gestión de energía en sitios donde no cuentan con red convencional, hibridar una o varias tecnologías renovables con una tecnología de almacenamiento se adquiere capacidad de gestión incrementando la eficiencia y maximizando el aprovechamiento del recurso natural, pudiendo desplazar la energía excedente del sistema fotovoltaico a momentos donde exista picos de demanda. La tecnología de almacenamiento de mayor auge son los sistemas BESS (Battery energy Storage System) almacenan la electricidad producida por el sistema fotovoltaico durante un periodo determinado del día para posteriormente usarlo durante la noche o en momentos donde exista una alta demanda de energía. Así mismo, proporcionan estabilidad y permiten que el sistema funcione cuando no hay luz solar disponible, permitiendo que los grupos electrógenos operen a mínima potencia o que pueden actuar como un sistema de respaldo (Stand By).

Las formas de conexionado en paralelo de los sistemas híbridos se clasifican de la siguiente manera:

- a. Conexión en paralelo con acoplamiento en DC:** Esta configuración refiere a que los equipos que conforman el sistema híbrido estén acoplados en el lado de corriente directa, este tipo de conexión cuenta con una característica principal, ya que usan inversores cargadores o con MPPT integrado.
- b. Conexión en paralelo con acoplamiento en AC:** Esta configuración refiere a que los equipos que conforman el sistema híbrido estén acoplados en el lado de corriente alterna, este tipo de conexión cuenta con una característica principal, ya que usan inversores de red u On Grid.

2.2.3 Energía eléctrica

Según Tamayo et al. (2016) indica que la energía eléctrica es el flujo constante de electrones que se da en un conductor, este flujo de electrones se da a la presión que ejerce el voltaje, mientras que a la tasa que fluye los electrones se le denomina intensidad.

2.2.4 Factores económicos

a. Valor Actual Neto (VAN)

El VAN o conocido también NPC (Net Present Cost) es el Valor Presente Neto de los componentes de un sistema que se utiliza para evaluar los costos de instalación y operación durante su vida útil, así mismo, es un indicador que determina la viabilidad del proyecto. Para evaluar la rentabilidad de un proyecto en un tiempo determinado se utiliza la ecuación 1.

$$NPC = \sum_{i=1}^n \left(\frac{Q_n}{(1+r)^n} \right) - I \quad (1)$$

Donde:

Q_n : Representa el Flujo de Caja

I : Inversión inicial

n : Vida útil del proyecto

r : Tasa de descuento

b. Tasa interna de retorno (TIR)

El TIR o conocido también IRR (Internal rate of return) es la tasa de descuento en lo que un sistema de caso base y un sistema actual propuesto tienen un mismo NPC. El TIR mide la rentabilidad del proyecto, mientras mayor sea el TIR mayor rentabilidad tendrá el proyecto, pero si el TIR es menor que el capital, indica que el proyecto pierde dinero y no es rentable económicamente. A todo ello, la ecuación 2 nos permitirá determinar la rentabilidad de inversión de un proyecto.

$$NPC = \sum_{i=1}^n \left(\frac{Q_n}{(1+r)^n} \right) - I = 0 \quad (2)$$

Donde:

Q_n : Representa los flujos de Caja

I : Inversión inicial

n : Años de vida del proyecto

r : Tasa de descuento del sistema

c. Retorno de inversión (ROI)

El ROI (Return Of Investment) es la diferencia anual de los flujos de caja nominal de un sistema base y propuesto, el cual se comprende durante los 25 años del proyecto dividido por la diferencia de los costos del capital, todo ello es expresado de manera porcentual. Cuanto menor sea el ROI, mayor será la factibilidad del proyecto. La ecuación 3 permitirá evaluar la rentabilidad de la inversión.

$$ROI = \frac{\sum_{i=0}^{R_{Proyecto}} C_{i.ref} - C_i}{R_{Proyecto}(C_{cap} - C_{cap.ref})} \quad (3)$$

Donde:

$C_{i.ref}$: Flujo de caja nominal anual para el sistema base (referencia)

C_i : Flujo de caja nominal anual para el sistema actual

$R_{Proyecto}$: Vida útil del proyecto en años

C_{cap} : Costo capital del sistema propuesto

$C_{cap.ref}$: Costo capital del sistema base

Mientras que para el payback la ecuación 4 permitirá el cálculo:

$$Payback = a + \frac{(b - c)}{d} \quad (4)$$

Donde:

a : Año inmediato anterior.

b : Inversión inicial del proyecto.

c : Flujos de caja acumulado del año inmediato anterior.

d : Flujo efectivo del año.

d. Costos de Capital (CAPEX)

Según Esan (2018) menciona que el Capex o costos de capital es un gasto que una empresa realiza en beneficio de la misma empresa, este valor es clave para que una empresa pueda mejorar la calidad de su crecimiento. El Capex en proyectos de inversión renovable tienen un impacto alto debido a los gastos de ingeniería, componentes, obras eléctricas, mecánicas, etc.

$$CAPEX = CAPEX_{FV} + CAPEX_{BESS} + CAPEX_{GE} + CAPEX_{BOS} \quad (5)$$

Donde:

$CAPEX$: Costo total del sistema híbrido.

$CAPEX_{FV}$: Costo del Sistema Fotovoltaico.

$CAPEX_{BESS}$: Costo del Sistema de Almacenamiento en Baterías.

$CAPEX_{GE}$: Costo del Grupo Electrónico.

$CAPEX_{BOS}$: Costo del balance del sistema (Balance of System).

e. Costos Operativos (OPEX)

El Opex (Operational Expenditure) o costos operativos se usan para evaluar los costos que influyen en la O&M de un proyecto durante su duración operativa. En los sistemas de generación de energía híbrida se realizan los mantenimientos de manera anual siendo los preventivos o correctivos, el fin es para no afectar al rendimiento de sus componentes y su vida útil. Según Muños (2022) señala que si se quiere tener un buen funcionamiento y rendimiento del sistema de generación renovable los componentes que lo conforman tienen que operar según las indicaciones de fábrica, respetando los rangos de entrada de parámetros eléctricos, temperatura de operación y distancias mínimas de seguridad, con la finalidad de asegurar el buen rendimiento del sistema. Así mismo, según IRENA (2021), refieren que los costos de O&M está comprendido entre el 1 al 3% del costo total del proyecto.

f. Levelized cost of electricity (LCOE)

Según Duarte (2019), señala que el LCOE es el costo de generación de energía eléctrica, el cual suele ser un costo bajo para la venta de energía, además el LCOE permite realizar comparaciones de diferentes tecnologías como la solar,

eólica, genset, etc. Según Ragheb (2017) menciona que el LCOE se ve expresado en \$/kWh o \$/MWh. En la ecuación 6 se aprecia la formula del LCOE el cual es directamente proporcional a los costos totales anualizados del sistema e inversamente proporcional a la energía generada.

$$LCOE = \frac{C_{Total\ anual} - C_{caldera} * H_{servida}}{E_{servida}} \quad (6)$$

Donde:

$C_{Total\ anual}$: Costo total anual (\$/año)

$C_{caldera}$: Costo de caldera (\$/kWh)

$H_{servida}$: Carga térmica servida (kWh/año)

$E_{servida}$: Carga eléctrica servida (kWh/año)

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Energía solar fotovoltaica

Los módulos solares o módulos fotovoltaicos captan la energía proveniente del Sol para convertirlo en corriente directa, este proceso de conversión se da gracias al efecto fotovoltaico el cual se visualiza en la Figura 1, en este contexto “la energía solar fotovoltaica se fundamenta en la transformación o conversión de la radiación solar en energía eléctrica a partir de materiales semiconductores mediante el efecto fotoeléctrico, es decir, en la incidencia de la luz del sol sobre una de las caras de la celda fotovoltaica” (Guerra, 2021, pág. 21).

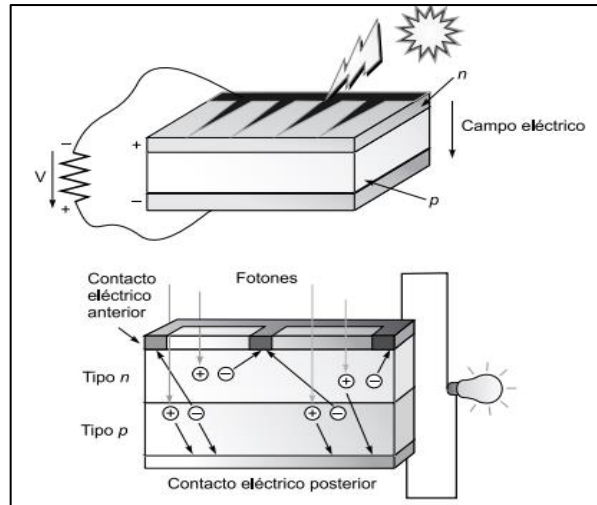


Figura 1. Efecto fotovoltaico (Carta, Calero, Colmenar, & Castro, 2009).

2.3.2 Radiación solar

Conformado por ondas electromagnéticas que tienen frecuencias variables y energía. La radiación a medida que llega al plano terrestre pierde intensidad en su trayecto modificando su distribución espectral, el cual se ve en la Figura 2. Según Jarabo et al. (1998) mencionan que hay factores que afectan directamente a la corriente de la radiación, ya que está relacionado por la ubicación geográfica y las condiciones climatológicas del lugar.

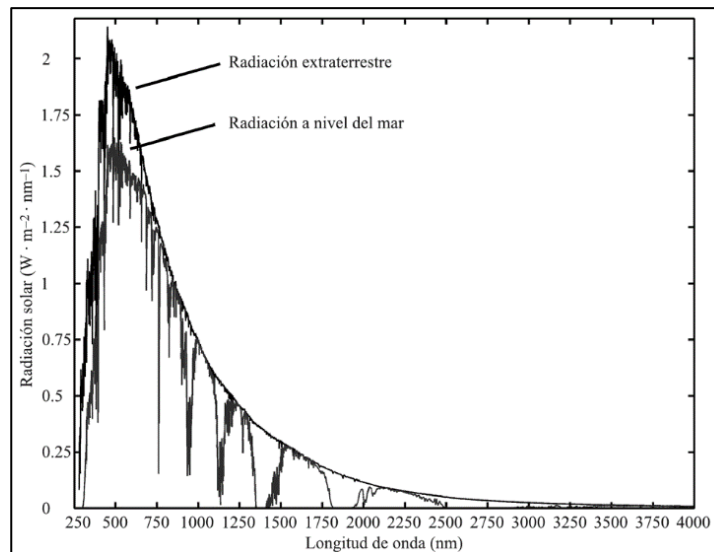


Figura 2. Espectro de la radiación solar extraterrestre y AM1.5 (Mascarós, 2016).

La radiación global que percibe la tierra del sol se clasifica en 3 componentes el cual se detalla a continuación.

- a. **Radiación directa:** “es la radiación que nos llega directamente del Sol; sin haber incidido con nada por el camino y, por tanto, sin haberse desviado ni cambiado de dirección. Esta radiación es la que produce las sombras. Es el tipo de radiación predominante en un día soleado” (Schallenberg et al., 2008, pág. 50).
- b. **Radiación difusa:** “es la radiación que nos llega después de haber incidido con cualquier elemento de la atmósfera (polvo, nubes, contaminantes, etc.), por lo que ha cambiado de dirección. Es el tipo de radiación predominante en un día nublado” (Schallenberg et al., 2008, pág. 50).
- c. **Radiación reflejada:** “es la radiación reflejada por la superficie terrestre; cobra importancia en las zonas con nieve, con agua (como cerca del mar o de una presa) o cualquier otra zona donde la reflexión sea importante” (Schallenberg et al., 2008, pág. 50).

2.3.3 Irradiancia e irradiación

La irradiancia es la potencia que incide en un área determinada, por ello según Castejón y Santamaría (2010), mencionan que la irradiancia es “potencia o radiación incidente por unidad de superficie. Indica la intensidad de la radiación solar. Se mide en vatios por metro cuadrado (W/m^2)” (pág. 16).

Mientras que la irradiación es la sumatoria de irradiancias por un tiempo determinado, en ese contexto según Castejón y Santamaría (2010), indican que la irradiación es la “integración o suma de las integraciones en un periodo de tiempo determinado. Es la cantidad de energía solar recibida durante un periodo de tiempo. Se mide en julios por metro cuadrado por un periodo de tiempo (J/m^2 por hora, día, semana, mes, año, etc., según el caso)” (pág. 16).

2.3.4 Horas de Sol Pico (HSP)

Representa la cantidad promedio de horas de irradiancia incidente en un lugar determinado, el cual se grafican como en la Figura 3. En ese contexto, “la Hora Solar Pico (HSP) es la energía que recibimos en horas por m^2 , y esta energía no es la misma

dependiendo de la localización (cuanto más cerca del ecuador mayor será) y por su época del año. No hay el mismo sol en un día de invierno que de verano” (Montoya, 2019, pág. 22).

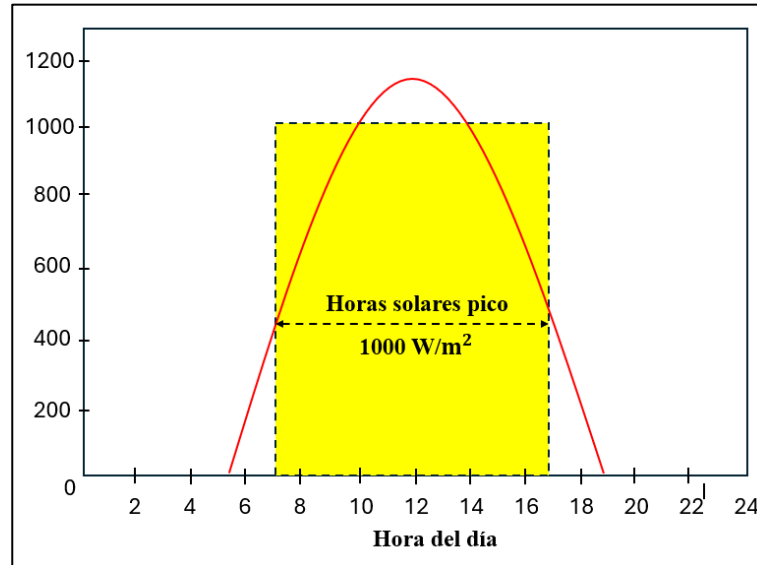


Figura 3. Horas Solares Pico (Montoya, 2019).

2.3.5 Sistema de generación de energía híbrida

Los sistemas híbridos están conformados por 2 o más tecnologías de generación eléctrica y tienen la finalidad de brindar fluidez constante de energía y evitar cortes en el suministro eléctrico. Según Cruz (2010) menciona que los sistemas híbridos tienen la ventaja de ser flexibles y modulables, ya que un sistema netamente off grid tienen costos de inversión alto y los grupos electrógenos operando en su totalidad tienen un impacto en los costos de combustibles y mantenimiento.

Estos sistemas tienen una gran variedad de aplicaciones que son viables y beneficiosos. Los sistemas híbridos facilitan la combinación del recurso energético disponible en el lugar que generalmente son fuentes renovables y de ser necesario por un grupo electrógeno. En ese sentido “los sistemas híbridos de generación de potencia, típicamente integrado por módulos fotovoltaicos, aerogeneradores, generadores diésel, gasificadores, son una aplicación realmente prometedora para la electrificación de lugares aislados que se encuentran fuera del alcance de la red de distribución eléctrica” (Cruz, 2010, pág. 3).

a. Configuración de sistemas híbridos

La configuración dependerá de la necesidad, del lugar y del recurso disponible para proporcionar suministro eléctrico confiable y sostenible. Según Lopez (2012) menciona que existen 3 tipos de clasificación de configuración de minired híbrida, donde estas dependen de la naturaleza del lugar y de la unidad formada de red. El cual se muestra a continuación:

- **Minired dominada por máquinas rotativas multimaestro:** Según Lopez (2012) indica que esta primera configuración lo conforman los grupos electrógenos, sistemas fotovoltaicos y otras fuentes de renovables, donde los grupos electrógenos son los encargados de formar la red.

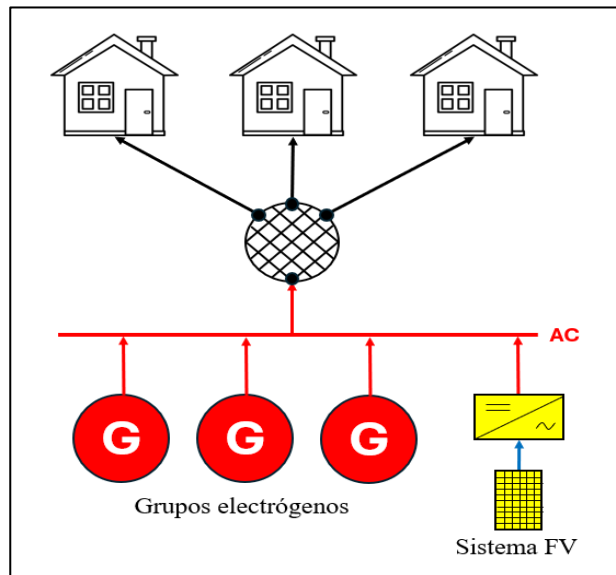


Figura 4. Minired dominada por máquinas rotativas multimaestro (Lopez, 2012).

- **Arquitectura de minired maestra de conmutación única:** Según Lopez (2012) señala que la segunda configuración que se aprecia en la Figura 5 esta formado normalmente por grupos electrogenos, SFV y baterías o BESS donde el formador de red se conmuta entre el grupo electrogeno y el BESS.

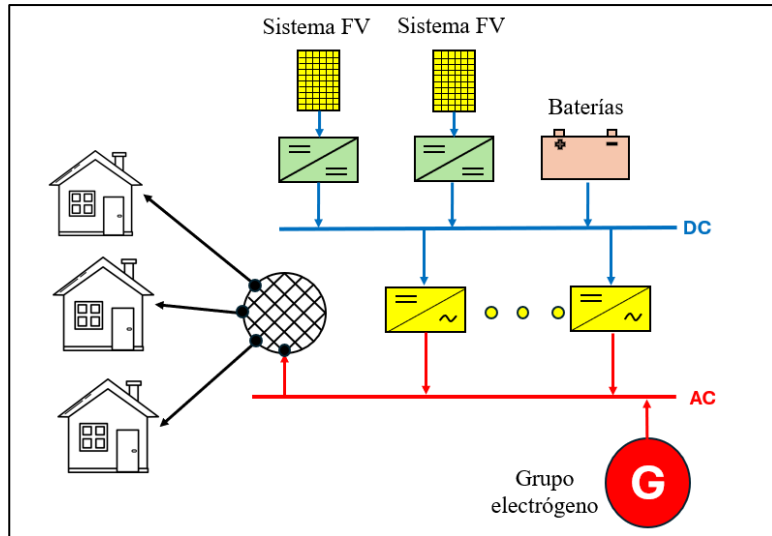


Figura 5. Arquitectura de una minired maestra de conmutación única (Lopez, 2012).

- **Minired dominada por inversores multimaestro:** Según Lopez (2012) menciona que el tercer tipo de configuración lo conforman los grupos electrógenos, sistemas fotovoltaicos, sistemas de almacenamiento en baterías y otras fuentes de generación renovable donde la unidad formadora de la red son los SFV junto con los grupos electrógenos. En la Figura 6 se muestra el esquema de la tercera configuración.

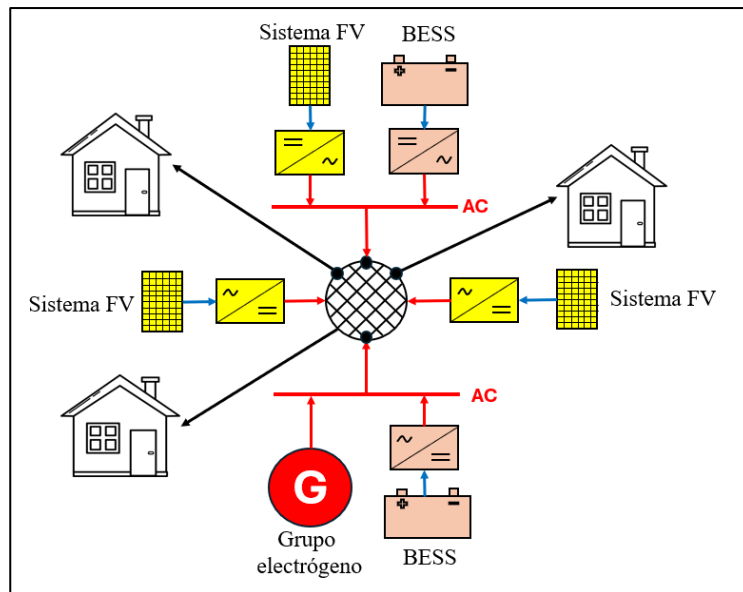


Figura 6. Minired dominada por inversores multimaestro (Lopez, 2012).

2.3.6 Módulo fotovoltaico

Captan la radiación incidente para luego convertir la energía solar irradiada en corriente continua, este resultado se da mediante el efecto fotovoltaico. Según Mascarós (2016) afirma que “un módulo fotovoltaico es una asociación eléctrica de células fotovoltaicas, encapsuladas y montadas sobre soporte. Es habitual clasificar los módulos fotovoltaicos en función del tipo de células utilizadas” (pág. 61).

A continuación, se da a conocer la clasificación de las celdas fotovoltaicas actuales en el mercado:

- **Monocristalinos:** “Presenta una estructura cristalina completamente ordenada. Se obtiene de silicio puro fundido dopado con boro. Se reconoce por su monocromía azulada oscura y metálica” (Pareja, 2016, pág. 20).
- **Policristalinos:** “Presenta una estructura ordenada por regiones separadas. Las zonas irregulares se traducen en una disminución del rendimiento. Se obtiene de la misma forma que el monocristalino, pero con menos fases de cristalización (combinación de átomos). Se reconoce porque en su superficie se distinguen tonos azules y grises metálicos” (Pareja, 2016, pág. 21).
- **Amorfos:** “Presenta un alto grado de desorden y un gran número de defectos estructurales en su combinación química. Su proceso de fabricación es menos costoso que los anteriores (se deposita en forma de lámina delgada sobre vidrio o plástico). Tiene un color homogéneo” (Pareja, 2016, pág. 21).

Las características eléctricas son las siguientes:

- **Intensidad de cortocircuito (Isc):** “Se produce tensión cero y es la que medimos poniendo el amperímetro directamente a la salida de la célula o panel. Es mayor en función de la superficie y de la radiación luminosa” (Casa y Mónica, 2012, pág. 27).
- **Tensión de circuito abierto (Voc):** “Es la tensión que hay cuando no conectamos ninguna carga. Es la máxima que puede dar una célula. Su valor se sitúa alrededor de los 0.5 V” (Casa y Mónica, 2012, pág. 27).

- **Potencia máxima (Pmpp):** “Es la máxima potencia que puede suministrar una célula y se define por el punto de la curva I-V en que se consigue un valor máximo, los puntos restantes de la curva generan valores inferiores” (Casa y Mónica, 2012, pág. 27).
- **Tensión en el punto de máxima potencia (Vmpp):** “Es la tensión del módulo en el punto de trabajo de máxima potencia” (Mascarós, 2016, pág. 67).
- **Intensidad en el punto de máxima potencia (Imp):** “Es la intensidad que circula por el módulo en el punto de trabajo de máxima potencia” (Mascarós, 2016, pág. 67).

En la Figura 7 se indica los parámetros de la curva I-V del módulo fotovoltaico el cual ya fueron descritos, estos valores son sometidos a condiciones estándar de medición (CEM) y es definida de la siguiente manera:

- Irradiación: 1000W/m^2 .
- Temperatura de celda: $25\text{ }^\circ\text{C}$.
- Masa de aire: AM 1.5.

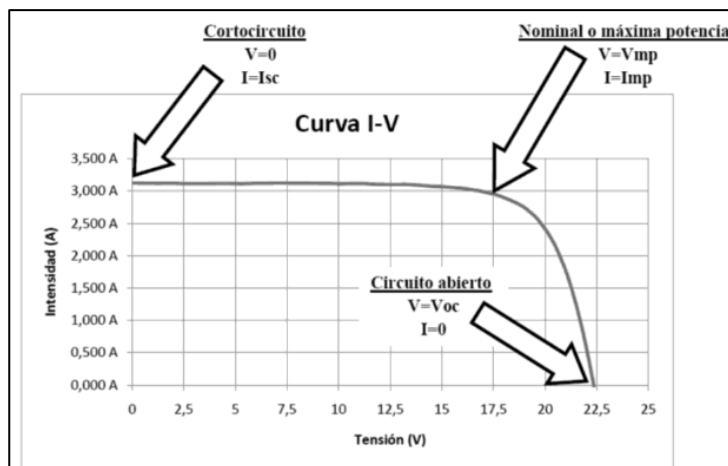


Figura 7. Curva I-V de un panel fotovoltaico (Pareja, 2016).

2.3.7 Inversores fotovoltaicos

El inversor fotovoltaico es un equipo compuesto por partes electrónicas y es esencial para convertir la energía eléctrica. Existen configuraciones y tipologías de inversores que son usados según la necesidad y el requerimiento.

- a. **Inversor Off Grid:** Llamados también autónomos o aislados son inversores que funcionan con baterías sin conexión a la red eléctrica, estos inversores funcionan a tensiones de 12V, 24V y 48V, donde la tensión del inversor es determinada por el banco de baterías.
- b. **Inversor On Grid:** Los inversores On Grid funcionan en paralelo con la red convencional y su aprovechamiento de energía se da durante el día en horas de sol generando un ahorro del consumo de energía diurno de la vivienda o industria. Según Casa y Mónica (2012) afirman que “son la parte más importante y compleja de la instalación ya que han de sincronizarse con los valores de tensión y de frecuencia de la red de distribución eléctrica y no pueden funcionar de forma aislada (modo isla)” (pág. 57).
- c. **Inversor bidireccional:** Los inversores bidireccionales son equipos que pueden convertir la corriente DC en corriente AC y viceversa. Estos inversores son capaces de funcionar bidireccionalmente el cual pueden tomar la electricidad de una fuente de energía (convencional y no convencional).

2.3.8 Sistema de almacenamiento de energía en baterías (BESS)

El BESS permite acumular la energía en forma química para luego liberarla y convertirla en energía eléctrica según la necesidad de las cargas garantizando el suministro continuo de energía. Para que se cumpla esta lógica las baterías deberán estar conectado en un acoplamiento DC o AC donde se conecten preferentemente fuentes de generación renovable como la energía fotovoltaica el cual permitirá la carga de las baterías cuando existan excedentes de energía, en ese sentido Schallenberg et al. (2008) indica también que las baterías “almacenan la electricidad generada por los paneles para poder utilizarla, por ejemplo, en horas en que la energía consumida es superior a la generada por los módulos o bien de noche” (pág. 67). A todo ello en la Figura 8, se visualiza un BESS dentro de un contenedor.



Figura 8. Sistema BESS (Novum Solar, 2022).

A medida que transcurren los años la tecnología de las baterías van desarrollándose, mejorando sus características químicas y físicas. A continuación, se muestran las siguientes tipologías:

- a. **Baterías de plomo ácido:** Dentro de la categorización de baterías de plomo ácido selladas existen baterías de tecnología AGM y GEL cuyas características son similares, como el libre mantenimiento, el diseño, la profundidad de descarga, etc. Según EverExceed (2021) menciona que las baterías AGM (Absorbent Glass Mat) son de tecnología de esfera de vidrio absorbido capaz de absorber ácido sulfúrico, pueden operar en climas fríos sin alterar el rendimiento de la batería, mientras que las baterías de GEL (Gelified Electrolyte Lead-Acid) utilizan un ácido sulfúrico mezclado previamente con sílice pirógena, estas baterías no son aptas para aplicaciones que sean de arranques ya sean motores eléctricos, y tienen un mayor rendimiento en ambientes cálidos.
- b. **Baterías de Ion Litio:** Son baterías conformadas por iones de litio el cual tienen varias aplicaciones, en la actualidad las baterías de iones de litio cuentan con una participación importante en el almacenamiento de energía a gran escala, por ello Diouf y Ramchandra (2015) afirman que las baterías de litio tienen características muy importantes con respecto a las baterías de plomo ácido, su alta densidad de energía y potencia, su alta eficiencia energética, su profundidad de descarga y vida útil hacen que tengan ventajas y por ende una mayor demanda el sector de las energías renovables. Así mismo, los precios de las baterías también acompañan de manera positiva al respecto Gonzalo (2020)

menciona que el precio de las baterías han disminuido notablemente en los últimos años, alcanzando 137 \$/kWh en el 2020.

- c. **Baterías de Níquel – Cadmio:** Según Peña, Santos, y Trujillo (2020) mencionan que estas baterías utilizan un electrolito de hidróxido de potasio en lugar de una solución ácida, lo que favorece funcionar a temperaturas muy bajas. Otra característica importante es que tienen una vida útil prolongada y son escalables.
- d. **Baterías de LiFePO_4 :** Tienen algunas similitudes con las baterías de iones de litio, pero la diferencia entre ellas se da en la composición química de los cátodos, el cual las baterías LiFePO_4 usan catodos de fosfato de hierro lo que les hace más estables y fiables a la vez.

2.3.9 Características del sistema de almacenamiento (BESS)

La configuración del BESS depende del tipo de aplicación que se le quiere dar, por ejemplo; gestión de demanda; regulación de voltaje y frecuencia; integración a las fuentes renovables y como respaldo de energía. Es necesario considerar los siguientes criterios y particularidades del BESS.

- a. **Capacidad de almacenamiento:** Energía aprovechable y utilizable que se almacena después de una carga completa de la batería, el cual la unidad está dado por kWh o MWh, este parámetro es sustancial a la hora de definir la capacidad de energía con el fin de satisfacer las necesidades energéticas.
- b. **Potencia nominal:** Es la potencia que suministra hacia una carga en periodos dados y absorber para su carga completa. Esta descripción se expresa en unidades de kW o MW.
- c. **Profundidad de descarga (DoD):** “Es el porcentaje de la capacidad total de la batería que es utilizada durante un ciclo de carga/descarga. Para aplicaciones fotovoltaicas es común utilizar baterías de descarga profunda, es decir, descargas entre 75% - 80%” (Valdiviezo, 2014, pág. 17).
- d. **Tiempo de descarga:** “Es el producto de la intensidad de descarga por el tiempo que actúa. Se expresa en Amperios Hora” (Valdiviezo, 2014, pág. 16).

- e. **Eficiencia:** Es un indicador que muestra la energía consumida entre la carga de batería y descarga de manera porcentual, por lo general, la eficiencia de un sistema BESS está comprendido entre el 60% y 95% y este valor depende directamente de las pérdidas en la conversión de energía durante las etapas de carga y descarga.
- f. **Vida útil en ciclos:** “Se expresa en ciclos, es decir, la cantidad de cargas/descargas que llega a tener la batería. La vida útil depende del espesor de las placas, concentración del electrolito y principalmente de la profundidad de descarga” (Valdiviezo, 2014, pág. 17).

2.3.10 Gestor energético

Es un sistema de control que supervisa y regula el flujo de energía de un conjunto de fuentes de generación, esto significa que el gestor monitorea y optimiza constantemente la disponibilidad de las fuentes de generación eléctrica para un aprovechamiento y suministro estable. En este contexto Descalzo (2014) explica que un Gestor Energético es la solución más adecuada para la integración de sistemas híbridos en sistemas fotovoltaicos, sistemas BESS y grupos electrógenos que operan con combustibles fósiles. Estos equipos ofrecen una monitorización constante al sistema fotovoltaico, al BESS y al Grupo electrógeno, y el tipo de funcionamiento dependerá de la prioridad en la configuración, toda la información monitorizada puede mostrarse a través de una página web o sistema SCADA.

2.3.11 Grupo electrógeno (GE)

Los grupos electrógenos (GE) son máquinas de generación de energía que están compuestos por un motor diésel, gas o gasolina y un alternador o generador eléctrico. Estos grupos son usados en pequeñas escalas de grupos portátiles hasta grandes potencias, además, funcionan a diferentes rangos de tensión sean monofásicos 220V o trifásicos 380V, 440V, 480V. Según Aponte (2020) menciona que los grupos electrógenos son máquinas de combustión interna y tienen la finalidad de generar energía eléctrica, estos sistemas son usados en zonas rurales para el abastecimiento de energía. Los componentes principales del grupo electrógeno se visualizan en la Figura 9.

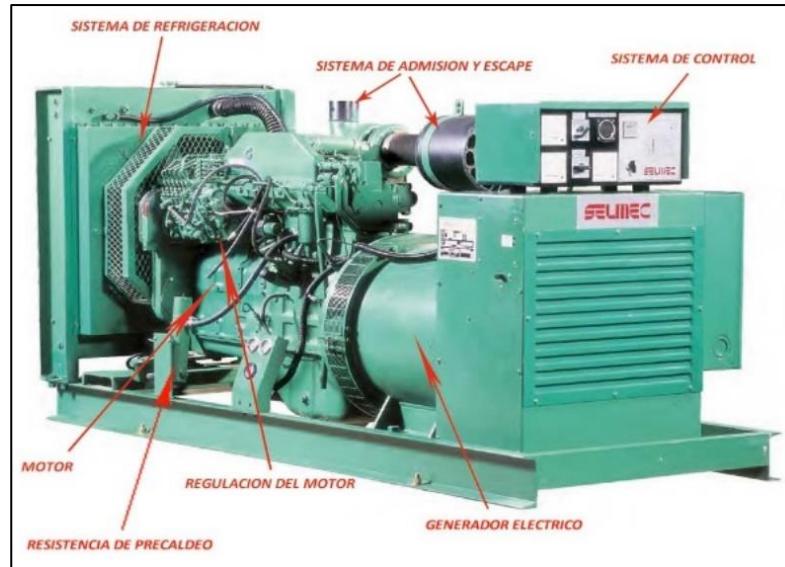


Figura 9. Partes de un Grupo Electrógeno (De Máquinas y Herramientas, 2015).

A continuación, se muestra los componentes principales de un grupo electrógeno:

- **Motor:** Convierte la energía química del combustible en energía mecánica.
- **Alternador:** Encargado de convertir la energía mecánica en energía eléctrica.
- **Sistema de refrigeración:** Los grupos electrógenos emiten gran cantidad de calor debido al funcionamiento. Este sistema normalmente comprende de un radiador y un ventilador para su refrigeración.
- **Sistema de admisión y escape:** El sistema de admisión es el responsable de suministrar aire al motor para su combustión, mientras que el sistema de escape se encarga de eliminar los residuos después de la combustión de combustible del motor.
- **Sistema de control:** Encargado de registrar los arranques y paradas del motor de manera automática.
- **Regulación del motor:** Controla y mantiene la regulación del motor el cual depende mucho de las cargas en operación.

Los grupos electrógenos pueden clasificarse en tres diferentes modos de servicio dependiendo de su uso y capacidad de su carga, los cuales son:

- **Modo Continuo:** Se utiliza cuando el GE opera de manera continua y constante a carga nominal durante un tiempo ilimitado de horas. Es modo es adecuado para infraestructuras industriales o comerciales.
- **Modo Prime:** Es cuando el GE opera de manera continua, pero con variaciones de carga que superan la potencia nominal en periodos de tiempo limitados.
- **Modo Stand By:** Se usa como fuente de respaldo ante fallas, cortes o emergencias de la fuente principal de energía, este servicio se da por periodos cortos y constantes.

Los modos de operación de los GE se dan de acuerdo con la aplicación de las cargas y condiciones operativas.

2.3.12 Software Helioscope y Homer Pro

El software Helioscope es una herramienta para realizar diseños y simulaciones de sistemas fotovoltaicos de pequeña, mediana y gran escala, permite calcular la cantidad de módulos solares según los espacios disponibles, este software trabaja con datos meteorológicos del Meteonorm. Según Angélica (2021) indica que el software Helioscope, se especializa en diseños, reportes de generación y análisis de sombras detalladas, así mismo, realiza un análisis del cableado y caída de tensión. El programa cuenta con una variedad de marcas y modelos de módulos e inversores solares para realizar los diseños y simulaciones.

El software Homer es una herramienta de simulación de sistemas híbridos, ayuda a determinar la viabilidad de configuraciones híbridas y a evaluar cada tecnología en factores económicos, además, realiza un análisis del balance de energía. Este programa cuenta con múltiples funciones que ayudan a comprender y comparar múltiples configuraciones híbridas. Según Simbaña citado por Sánchez y Timoteo (2022) señala que el objetivo del software Homer es encontrar la configuración correcta en términos técnicos y económicos, garantizando la buena operatividad del sistema. Los parámetros importantes para poder usar el software es contar con la ubicación exacta, las cargas eléctricas y los costos estimados por cada tecnología a simular, cabe mencionar que la simulación se realiza de manera anual, las 8760 horas del año.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Formulación de hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

Al desarrollar la evaluación de prefactibilidad de un sistema híbrido (solar, baterías y diésel) permitirá analizar la factibilidad y la viabilidad, garantizando el correcto suministro de energía eléctrica a las cargas de la agroindustria Terra ubicado en el departamento de Lambayeque.

3.1.2 Hipótesis específicas

- El recurso solar es óptimo para el funcionamiento del sistema híbrido en la agroindustria Terra ubicado en el departamento de Lambayeque.
- Técnicamente es viable el desarrollo de un sistema híbrido (solar, baterías y diésel) asegurando el buen suministro de energía eléctrica a las cargas del campamento y operación de la agroindustria Terra ubicado en el departamento de Lambayeque.
- Económicamente es rentable el sistema híbrido (solar, baterías y diésel) para el suministro de energía eléctrica a las cargas del campamento y operación de la agroindustria ubicado en el departamento de Lambayeque.

3.2 Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación para este proyecto es descriptiva y aplicada, descriptiva porque se describirá los equipos escogidos y las variables se presentarán tal y como es en la realidad y aplicada porque se caracterizará y procesará los datos de manera práctica y lógica para el análisis de la evaluación de prefactibilidad del sistema híbrido. Lozada (2014) refiere que la finalidad de la investigación aplicada es aplicar los conocimientos de manera directa a la sociedad o al sector productivo, para generar diversificación y progreso del sector, brindando alternativas de mejora según la necesidad de la sociedad o industria.

El diseño de la investigación es de tipo no experimental, el cual se estudiarán y analizarán ambas variables sin modificar o alterar ninguna de las variables en mención.

3.3 Población y muestra

La población y muestra es única, y aplica para el sistema híbrido (solar, baterías y diésel) que suministrará energía a la Agroindustria Terra, situado en el distrito de Olmos, provincia de Olmos, departamento de Lambayeque.

- Latitud : $6^{\circ}10'40.2''S$
- Longitud : $80^{\circ}27'09.1''W$

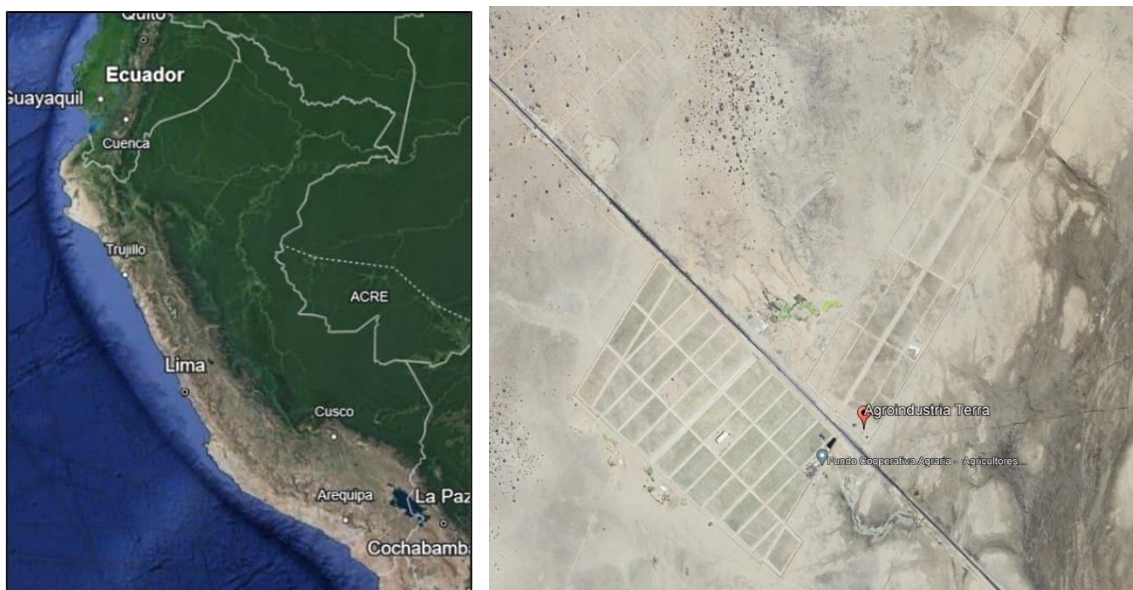


Figura 10. Emplazamiento del Proyecto.

El sitio destinado para el proyecto presenta las siguientes características:

- Zona rural
- Accesible
- Presencia media de niveles de polución

Además, presenta las siguientes condiciones y/o parámetros ambientales:

Tabla 1

Parámetros ambientales del lugar de emplazamiento.

Parámetros	Valor
Altura sobre el nivel del mar	160 msnm
Temp. Máxima anual promedio	34 °C
Temp. anual promedio	26.5 °C
Temp. mínima anual promedio	19 °C
HR (%)	80%
Velocidad del viento (km/h)	10.14
Precipitaciones medias anuales (mm)	158 mm

3.4 Metodología

La evaluación de prefactibilidad del sistema híbrido se desarrollará en base a 25 años de vida útil, el cual los cálculos técnicos y económicos se harán en función al tiempo indicado.

3.4.1 Análisis de datos del recurso solar

La irradiancia solar es un parámetro significativo para la determinación del aprovechamiento del recurso y las horas solares pico en la zona. Actualmente, existen una variedad de plataformas web especializadas en la obtención del recurso solar que brindan datos de irradiancia el cual son aprovechados para realizar cálculos y dimensionamientos de proyectos fotovoltaicos de pequeña y gran escala. Ante ello, se realiza un estudio de las plataformas online más usadas y recomendadas en el sector fotovoltaico donde brinden datos online de irradiación solar garantizando la precisión, confiabilidad y calidad de los datos. Por lo que se analizará 3 fuentes de datos, donde se tendrán en cuenta sus particularidades resolutivas de toma de datos, el cual permitirá obtener una comprensión e interpretación más completa. Las plataformas web que se emplearán para determinar y comparar la irradiancia solar en la zona serán los siguientes:

- Meteonorm
- NASA Surface meteorology and Solar Energy (SEE)
- PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System)

Se procesarán los datos de un periodo determinado de cada base de datos mencionados, el cual estos datos serán exportados e importados en el Microsoft Excel en archivos CSV, donde se determinará las irradiancias promedias mínimas, máximas y mensuales. Con la ecuación 7, se calculará la irradiación promedio mensual.

$$GHI_{prom. mensual} = \frac{\sum GHI_{prom. diaria}}{n} \quad (7)$$

Donde:

$GHI_{prom. mensual}$: Irradiancia Global Horizontal promedio mensual (W/m^2).

$GHI_{prom. diaria}$: Valores promedios diarios de Irradiancia Global Horizontal (W/m^2).

n : Número total de días con datos disponibles.

Mientras que para calcular las Horas Solares Pico promedios mensuales (HSP), se utilizará la ecuación 8, el cual nos permitirá obtener el valor.

$$HSP_{prom. mensual} = \frac{\sum HSP_{prom. diario}}{n} \quad (8)$$

Donde:

$HSP_{prom. mensual}$: Horas Solares Pico promedio mensual (h).

$HSP_{prom. diaria}$: Horas Solares Pico promedio diario (h).

n : Número de días del mes.

Finalmente, con la ecuación 9 analizaremos la desviación estándar mensual de los datos procesados por cada base de datos, el cual nos ayudará a interpretar cuan dispersos están los datos de irradiancia solar respecto a la media.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (9)$$

Donde:

σ : Desviación estándar de irradiancia solar (W/m^2)

N : Número total de datos

x_i : Valores individuales de irradiancia (W/m^2)

\bar{x} : Media de los valores de irradiancia (W/m^2)

3.4.2 Recolección y cálculo de cargas

Se recopilará las cargas para determinar la potencia y energía, en base a ello se realizará los cálculos correspondientes. Las ecuaciones 10 y 11, facilitaran el cálculo.

$$P_{total} = P_{Unitaria} * Q \quad (10)$$

Donde:

P_{total} : Potencia total (W)

$P_{Unitaria}$: Potencia unitaria (W)

Q : Cantidad

$$E = P * t \quad (11)$$

Donde:

E : Energía total (Wh)

P : Potencia total (W)

T : Tiempo de operación (h)

3.4.3 Desarrollo técnico del sistema híbrido

a. Diseño

Se determinará el diseño y capacidad adecuada del sistema híbrido, el diseño para estos sistemas es una tarea razonable compleja, donde se tendrán en cuenta la ubicación, orientación, inclinación, demanda de energía, disponibilidad del recurso solar, impacto en los aspectos de O&M y otros factores, de tal manera que no afecte en la eficiencia y durabilidad del sistema, definido el diseño se establecerá la apropiada configuración. Para ello se tendrán algunas consideraciones de diseño:

- Los equipos principales del sistema híbrido se seleccionarán en base a la eficiencia, durabilidad y características técnicas y eléctricas.
- Los módulos fotovoltaicos estarán a una inclinación adecuada, para ello la ecuación 12 permitirá obtener la inclinación necesaria.

$$\beta = 3.7 + 0.69(\Phi) \quad (12)$$

Donde:

β : Inclinación óptima (°)

Φ : Latitud (°)

- Se definirá la topología o configuración del sistema híbrido con la finalidad de garantizar un buen funcionamiento entre los componentes del sistema híbrido.
- El aterrado del sistema híbrido será por cada sistema (fotovoltaico, BESS y grupo electrógeno) para posterior derivarse a tierra del tablero de la agroindustria.

b. Dimensionamiento

Se considerarán que los componentes del sistema híbrido cuenten con certificaciones y estándares de calidad, como también los aspectos técnicos y eléctricos con la finalidad de que cada uno de los componentes sean compatibles y garanticen el buen funcionamiento y rendimiento.

- **Cálculo de módulos fotovoltaicos:** Para seleccionar la marca y modelo se considerarán las características técnicas y eléctricas del módulo fotovoltaico. Así mismo, para hallar la cantidad de módulos es necesario saber cuál es la demanda de energía, así mismo, es importante conocer la irradiancia mensual. Las ecuaciones 13 y 14 nos ayudará a determinar la potencia pico del sistema fotovoltaico y cantidad de módulos solares.

$$P_{FV} = P_U * P_{e_{FV}} * FE \quad (13)$$

Donde:

P_{PV} : Potencia pico de sistema fotovoltaico.

P_U : Demanda en AC.

$P_{e_{PV}}$: Penetración fotovoltaica.

FE : Factor de escala

$$N_{módulo\ FV} = \frac{P_{sistema\ FV}}{P_{módulo\ FV}} \quad (14)$$

Donde:

$N_{módulo\ FV}$: Número de módulos fotovoltaicos.

$P_{sistema\ FV}$: Potencia pico del sistema FV (kWp).

$P_{módulo\ FV}$: Potencia pico del módulo FV (Wp).

- **Cálculo del inversor:** Para la determinación del modelo y marca del inversor estas deberán de cumplir con certificaciones, estándares de calidad, eficiencia y compatibilidad con el resto del sistema y que las características eléctricas sean adecuadas para el lugar del proyecto. La ecuación 15 nos permitirá calcular la capacidad nominal del inversor.

$$FE = \frac{P_{sistema\ FV}}{P_{inversor\ FV}} \quad (15)$$

Donde:

FE: Factor de escala (comprendido entre 1.2 – 1.4)

$P_{Sistema\ FV}$: Potencia del sistema fotovoltaico (kWp)

$P_{Inversor\ FV}$: Potencia nominal del inversor (kWn)

- **Cálculo de almacenamiento de energía en baterías:** Según Asian Development Bank (2018) menciona que se tiene un método para determinar la capacidad del BESS, el cual se visualiza en la ecuación 16, esta ecuación se aplica para determinar la capacidad del sistema BESS en integraciones a sistemas renovables.

$$BESS_{Capacidad} = \frac{P_{Requerida} * D_{Requerida}}{DOD * N} \quad (16)$$

Donde:

$BESS_{Capacidad}$: Capacidad del sistema BESS (MWh)

$P_{Requerida}$: Potencia requerida (MW)

$D_{Requerida}$: Duración requerida (h).

DOD: Profundidad de descarga (%).

N: Eficiencia (%).

- **Cálculo del grupo electrógeno:** Para establecer la potencia del grupo electrógeno se aplicará la ecuación 17.

$$P_{GE} = \sum (Carga_{Continua} + Carga_{Arranque}) \quad (17)$$

Donde:

P_{GE} : Potencia activa o carga total del grupo electrógeno (kW).

$Carga_{Continua}$: Potencia total o carga continua (kW).

$Carga_{Arranque}$: Potencia de arranque o carga de arranque (kW).

$$S_{GE} = \frac{P_{GE}}{FP} \quad (18)$$

Donde:

S_{GE} : Potencia aparente requerida del grupo electrógeno (kVA).

P_{GE} : Potencia activa o carga total del grupo electrógeno (kW).

FP: Factor de potencia

- **Cálculo de conductores:** Para determinar el cálculo de la sección del cable en DC se empleará la ecuación 19.

$$S_{String} = \frac{2 * L_{String} * I_{String}}{k * V_{mpp} * \Delta U_{DC}} \quad (19)$$

Donde:

S_{String} : Sección transversal de los conductores de String en (mm²).

L_{String} : Longitud del String en metros (m).

I_{String} : Corriente nominal del String en Amperes (A).

V_{mpp} : Tensión nominal del String en Volts (V).

ΔU_{DC} : Caída de tensión máxima admisible.

k : Conductividad eléctrica a 90° ($k_{Cobre} = 44 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$).

La ecuación 20 permitirá calcular la sección mínima requerida del conductor en AC.

$$S_{AC} = \frac{\sqrt{3} * L_{AC} * I_{nom_{AC}} * \cos \Phi}{\Delta U_{AC} * V_{nom_{AC}} * k} \quad (20)$$

Donde:

S_{AC} : Sección transversal del cableado en AC (mm^2).

L_{AC} : Longitud del cableado AC (m).

$I_{nom_{AC}}$: Corriente nominal AC del inversor (A).

$V_{nom_{AC}}$: Voltaje nominal de red.

$\cos \Phi$: Factor de potencia.

k : Conductividad eléctrica a 90° ($k_{Cobre} = 44 \Omega \cdot \text{m/m}$).

ΔU_{AC} : Caída de tensión máxima admisible.

- **Cálculo de interruptores termomagnéticos:** El uso de llaves termomagnéticas DC es importante en la protección de los módulos, este interruptor se dimensiona en un 125% de la I_{sc} , mientras que las llaves en AC también se calculan para que pueda soportar el 125% de la corriente nominal máxima.

3.4.4 Modelado del sistema

Para garantizar la eficiencia, precisión y comprender como contribuye la generación de energía de cada tecnología del sistema híbrido a los consumos de la Agroindustria se realizará un modelado técnico y económico detallado mediante el software de simulación y optimización, donde se emplearán herramientas avanzadas de diseño como el Homer Pro (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources) y el software Helioscope.

3.4.5 Desarrollo de las métricas económicas

Para el cálculo y evaluación de las métricas económicas del proyecto, la evaluación solo tendrá alcance a los costos del sistema híbrido (sistema fotovoltaico, sistema BESS y grupo electrógeno) incluyendo mano de obra, gastos generales y ferretería eléctrica del sistema. A continuación, se detallan las siguientes métricas económicas a evaluar:

- **Valor Presente Neto (VAN):** Es el valor presente de todos los costos que incluye la instalación del sistema híbrido durante su operación operativa menos el valor de los ingresos, el desarrollo del NPC se realizara para 25 años

de vida útil con un 8% de tasa de descuento. Para hallar el NPC se empleará la ecuación 1.

$$NPC = \sum_{i=1}^n \left(\frac{Q_n}{(1+r)^n} \right) - I \quad (1)$$

- **Tasa Interna de Retorno (TIR):** Es la tasa interna de retorno donde el sistema base (grupo electrógeno) y el sistema propuesto (sistema híbrido) tienen el mismo costo actual neto. La ecuación 2 permitirá el cálculo de la métrica.

$$NPC = \sum_{i=1}^n \left(\frac{Q_n}{(1+r)^n} \right) - I = 0 \quad (2)$$

- **Retorno de la inversión (ROI):** Se utilizará la ecuación 3. El ROI es el ahorro de los costos anuales en relación con la inversión inicial. El cuál es la diferencia de los costos de los flujos nominales dividido por la diferencia de los costos capitales.

$$ROI = \frac{\sum_{i=0}^{R_{Proyecto}} C_{i.ref} - C_i}{R_{Proyecto} (C_{cap} - C_{cap.ref})} \quad (3)$$

Mientras que para el periodo de recuperación o payback se calculará con la ecuación 4.

$$Payback = a + \frac{(b - c)}{d} \quad (4)$$

- **Costos de capital (CAPEX):** El CAPEX del sistema híbrido está conformado por el sistema fotovoltaico, BESS y grupo electrógeno. Se usará la ecuación 5 para el cálculo del CAPEX, esta métrica incluye una variedad de costos involucrados en la inversión inicial del proyecto.

$$CAPEX = CAPEX_{FV} + CAPEX_{BESS} + CAPEX_{GE} + CAPEX_{BOS} \quad (5)$$

- **Costos operativos (OPEX):** El OPEX son los costos operativos fundamentales para el funcionamiento del sistema híbrido, dentro de los

cuales están los costos por mantenimientos del sistema durante 25 años de su vida útil. Según los estudios analizados por IRENA (2021), refieren que el costo de O&M está comprendido entre el 1 al 3% del costo total del proyecto.

- **Coste nivelado de energía (LCOE):** Para hallar el LCOE se empleará la ecuación 6.

$$LCOE = \frac{C_{Total\ anual} - C_{caldera} * H_{servida}}{E_{servida}} \quad (6)$$

3.5 Descripción de instrumentos

En el presente estudio de prefactibilidad se aplicarán diversas técnicas e instrumentos mostradas en la Tabla 2 el cual nos permitirán recopilar, estudiar, simular y comprender los datos y resultados del estudio de manera valida y confiable, permitiendo determinar la viabilidad de un sistema hibrido.

Tabla 2

Técnicas e instrumento.

Técnicas	Instrumentos
Análisis del recurso solar	PVGIS, METEONORM y NASA SEE.
Análisis de cargas	Hoja de cálculo (Microsoft Excel), diagramas unifilares (DWG) y Correo electrónico GMAIL.
Análisis documentales	Libros, tesis, normas internacionales, artículos, manuales, fichas técnicas, softwares (HOMER y HELIOSCOPE), Microsoft Word, Planos DWG, páginas web de internet, Hoja de cálculo (Microsoft Excel).

3.6 Proceso de evaluación de prefactibilidad

Los procesos que se emplearan para evaluar la prefactibilidad del sistema de generación híbrida se muestran en la Figura 11.

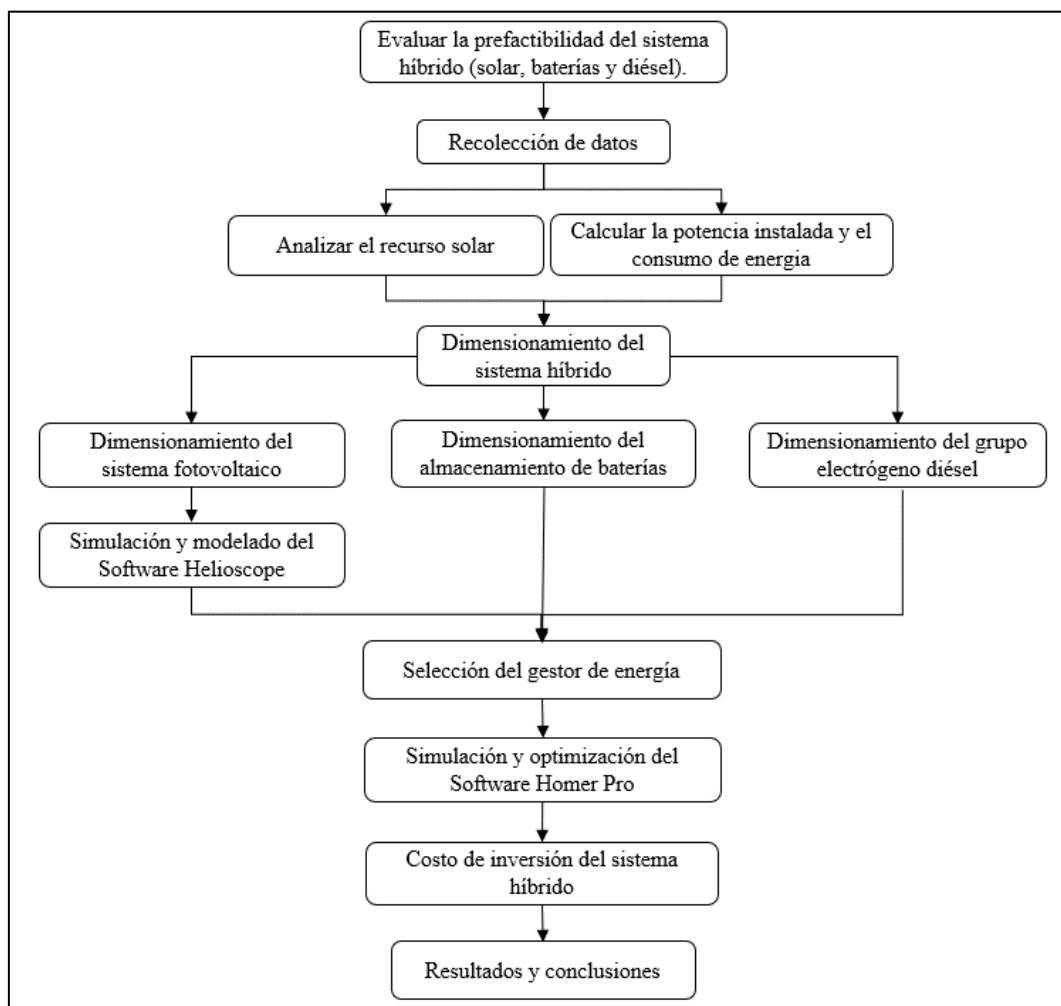


Figura 11. Proceso de la evaluación de prefactibilidad del sistema híbrido.

3.7 Operacionalización de variables

La Tabla 3 muestra la operacionalización de variables.

Tabla 3

Operacionalización de variables.

Variab les	Dimensiones	Indicadores	Unidad
Independiente:			
Demanda de energía	Energía eléctrica	- Potencia	- W
		- Energía	- Wh
	Energía solar	- Irradiación solar - Hora solar pico	- W/m ² - HSP
Dependiente:			
Sistema híbrido (solar, baterías y diésel)	Sistema fotovoltaico	- Módulos solares	- kWp
		- Inversor	- kWn
	Almacenamiento de energía	- Baterías	- kWh
		- PCS	- kW
	Generador diésel	- Grupo electrógeno diésel - Gestor energético	- kW
Factores económicos	- CAPEX - OPEX - LCOE	- USD - USD - USD/MWh	

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Evaluación del recurso solar

Para determinar la fuente o base de datos, se obtiene información característica de las principales bases de datos del recurso solar usados en el mundo por el rubro fotovoltaico, los cuales son el: PVGIS, METEONORM y NASA SEE. Cada fuente cuenta con características particulares.

Tabla 4

Características de las bases de datos de obtención del recurso solar.

Base de datos	PVGIS	METEONORM	NASA SEE
Periodo de registro	2005-2022	1996–2023	Julio 1983-junio 2022
Resolución temporal	1 hora	Datos modelados de 1 minuto y 1 hora	Totales diarios medios mensuales y anuales (kWh/m ²)
Cobertura espacial	Europa, África y la mayor parte de Asia y América	Global	Global
Resolución espacial	1 km agregado a 3 minutos de arco (~5 km)	Los datos de 8350 estaciones meteorológicas se interpolan utilizando datos satelitales para establecer datos meteorológicos en cualquier punto específico. Resolución máxima: 0,0625° x 0,0625°	0.5x0.5°

Tabla 4*Continuación*

Fuentes y elementos de datos	GHI, DNI, DHI y GTI, basados en las bases de datos CM-SAF, COSMO, NREL y ECMWF, sombreado del terreno opcional. También conjuntos de datos TMY	Medido: promedios mensuales de GHI, temperatura, humedad, precipitación, velocidad y dirección del viento y duración de la luz solar brillante. Años típicos modelados: parámetros de radiación de año típico de 1 minuto y por hora (GHI, DNI, DHI, GTI, infrarrojo descendente, luminancia y UVA y UVB), parámetros de precipitación y humedad (punto de rocío, humedad relativa, relación de mezcla, temperatura psicrométrica). Datos de radiación de mediciones terrestres combinados con promedios a largo plazo basados en satélites.	GHI, DNI y DHI a partir de un modelo de teledetección satelital. También disponible: estimaciones de cielo despejado GHI, DNI y DHI e irradiancia superficial inclinada, temperatura, presión, humedad, precipitación y velocidad del viento.
Disponibilidad	Centro de Investigación de la Comisión Europea, Dirección de Energía, Transporte y Clima; Unidad de Eficiencia Energética y Renovables: https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis	Meteotest: https://meteonorm.com/	https://power.larc.nasa.gov/

Luego de haber descrito las características principales, se desarrolla el procesamiento de datos de la irradiancia solar de las bases del PVGIS, Meteonorm y NASA SEE lo cual se usa la ecuación 7 para obtener los valores mencionados, respecto a las HSP promedios se usará la ecuación 8, por último, se hace uso de la ecuación 9 para calcular la desviación estándar de cada base de datos. El periodo comprendido para el procesamiento de datos esta desde el 2020 al 2022. En la Tabla 5 y Figura 12 se aprecian los resultados del procesamiento de irradiancia solar de la fuente de datos del PVGIS, donde se tiene una irradiancia promedio mensual máxima de 693 W/m^2 y mínima de 241.82 W/m^2 , mientras que el promedio de irradiancia anual es de 537.06 W/m^2 . Por último, la desviación estándar promedio anual es del 14%.

Tabla 5

Procesamiento de datos de irradiancia horizontal mensual del PVGIS.

Mes	Irradiancia promedio máxima (W/m^2)	Irradiancia promedio mínima (W/m^2)	Irradiancia promedio (W/m^2)	Desviación estándar (W/m^2)	Dev (%)
1	631.75	245.83	521.77	100.21	19
2	652.92	358.50	548.97	86.86	16
3	632.58	398.42	583.16	56.69	10
4	629.36	427.82	574.71	51.04	9
5	596.36	284.36	497.67	83.91	17
6	546.00	305.36	497.27	61.98	12
7	562.55	310.73	466.32	68.82	15
8	600.36	264.17	466.91	73.56	16
9	636.45	241.82	537.87	93.12	17
10	673.18	384.91	581.89	77.52	13
11	693.00	446.73	600.93	67.12	11
12	621.33	388.00	567.27	59.26	10

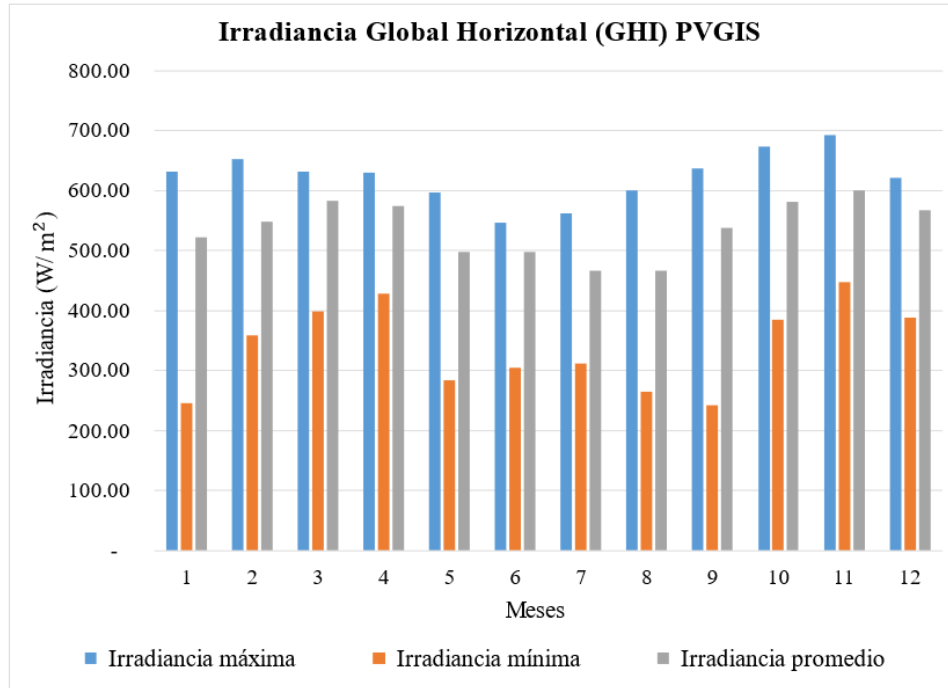
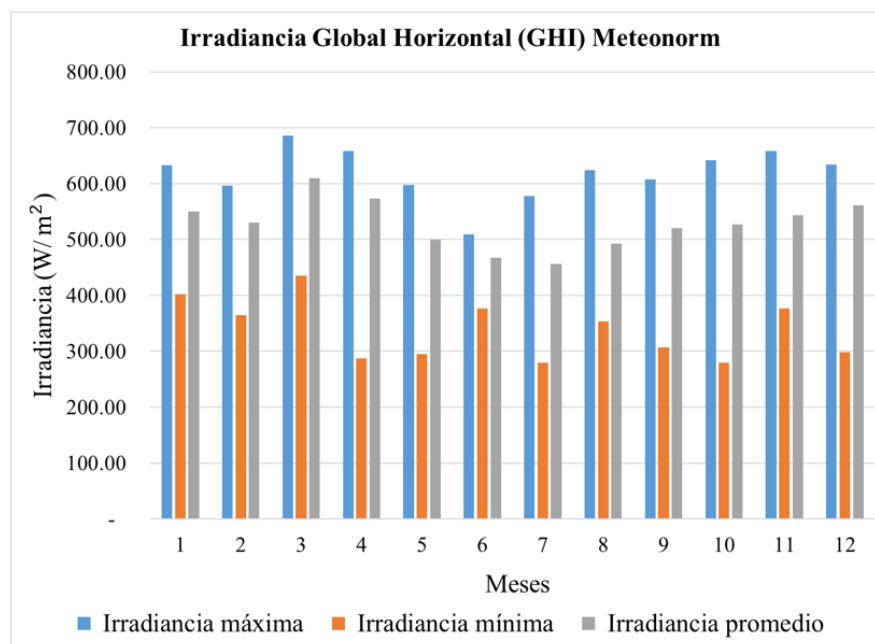


Figura 12. Irradiancia Global Horizontal promedio mensual por la fuente PVGIS.

Luego, en la Tabla 6 y Figura 13 se describe respectivamente el procesado de datos de irradiancia de la base de datos del Meteonorm, donde se tiene una irradiancia promedio mensual máxima de 686.36 W/m^2 y mínima de 279.64 W/m^2 , mientras que el promedio de irradiancia anual es de 527.55 W/m^2 . Por último, la desviación estándar promedio anual de la irradiancia es del 13%.

Tabla 6*Procesamiento de datos de irradiancia horizontal mensual del Meeonorm.*

Mes	Irradiancia promedio máxima (W/m ²)	Irradiancia promedio mínimo (W/m ²)	Irradiancia promedio (W/m ²)	Desviación estándar (W/m ²)	Dev (%)
1	632.67	402.00	550.50	52.15	9
2	595.92	365.00	529.81	58.31	11
3	686.36	434.67	609.58	60.67	10
4	658.09	287.58	573.23	82.41	14
5	598.00	294.82	499.80	78.70	16
6	509.58	376.33	466.85	36.87	8
7	577.36	279.64	456.11	90.46	20
8	624.55	353.73	492.64	75.57	15
9	607.08	307.33	520.09	62.86	12
10	641.50	280.00	527.37	87.55	17
11	658.25	376.33	543.81	76.99	14
12	633.58	298.15	560.81	78.03	14

**Figura 13.** Irradiancia Global Horizontal promedio mensual por la fuente Meeonorm.

Por último, en la Tabla 7 y Figura 14 se describen respectivamente el procesado de datos de irradiancia solar de la base NASA SEE, donde se tiene una irradiancia promedio máxima mensual de 593.37 W/m² y mínima de 203.28 W/m², mientras que el promedio de irradiancia anual es de 434.30 W/m². Por último, la desviación estándar promedio anual de la irradiancia es del 15%.

Tabla 7

Procesamiento de datos de irradiancia horizontal mensual del NASA SEE.

Mes	Irradiancia promedio máxima (W/m²)	Irradiancia promedio mínimo (W/m²)	Irradiancia promedio (W/m²)	Desviación estándar (W/m²)	Dev (%)
1	576.48	312.92	513.70	56.00	11
2	558.12	344.78	486.84	61.35	13
3	539.77	378.56	483.22	47.88	10
4	538.10	404.14	493.05	30.56	6
5	534.32	281.60	420.89	62.43	15
6	465.83	212.46	361.98	70.09	19
7	468.11	203.28	354.95	60.60	17
8	471.66	228.20	322.88	62.62	19
9	581.61	251.78	430.24	73.53	17
10	593.37	312.23	466.12	59.84	13
11	592.40	298.11	446.85	85.22	19
12	545.59	255.17	430.83	88.88	21

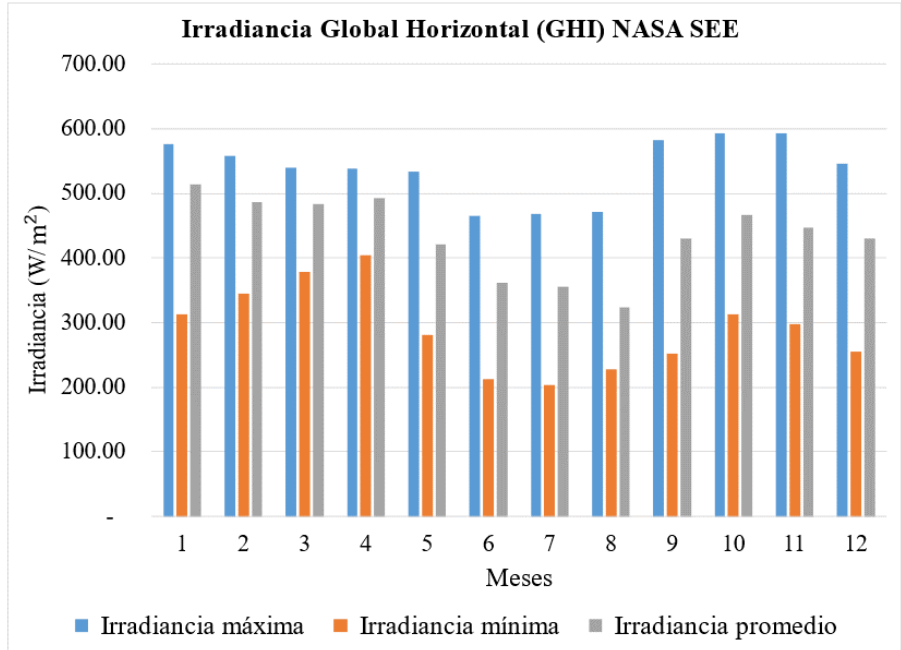


Figura 14. Irradiancia Global Horizontal promedio mensual por la fuente NASA SEE.

Respecto a los valores de las HSP promedios mensuales para el lugar de emplazamiento se demuestran en la Figura 15. Donde la base de datos del PVGIS tiene un promedio anual de 6.16 horas, mientras que el Meteonorm tiene 6.23 horas y la NASA SEE tiene 5.45 horas.

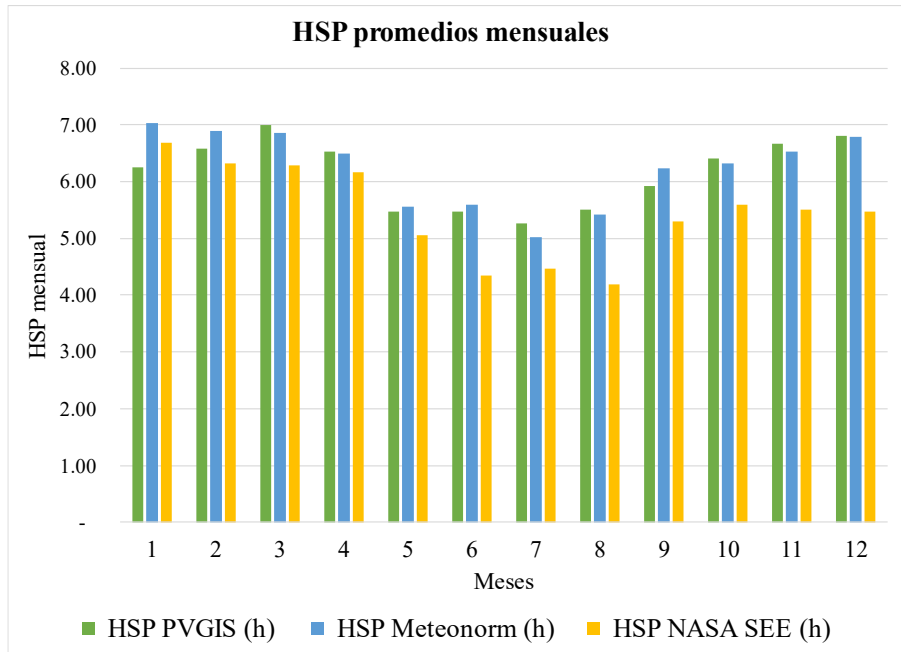


Figura 15. Horas Solares Pico promedios mensuales por las 3 bases de datos.

En la Tabla 8 y Figura 16 se detalla el resumen de los resultados de las comparaciones de GHI promedios mensuales de las 3 fuentes utilizadas

Tabla 8

Comparación de la Irradiancia Global Horizontal de las 3 fuentes usadas.

Mes	GHI PVsyst (W/m ²)	GHI Meteonorm (W/m ²)	GHI Nasa SEE (W/m ²)
1	521.77	550.50	513.70
2	548.97	529.81	486.84
3	583.16	609.58	483.22
4	574.71	573.23	493.05
5	497.67	499.80	420.89
6	497.27	466.85	361.98
7	466.32	456.11	354.95
8	466.91	492.64	322.88
9	537.87	520.09	430.24
10	581.89	527.37	466.12
11	600.93	543.81	446.85
12	567.27	560.81	430.83
Promedio anual	537.06	527.55	434.30

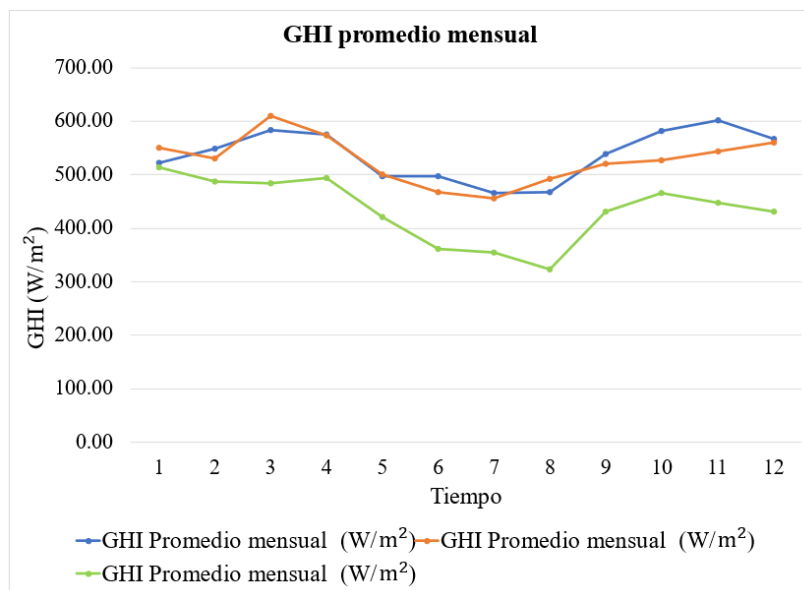


Figura 16. Comparación de la Irradiancia Global Horizontal de las 3 fuentes usadas.

En el análisis, se observó que los datos de irradiancia solar de las 3 bases de datos son diferentes, de las cuales el PVGIS y Meteonorm mostraron tendencias similares en términos de variación estacional y mensual de la irradiancia solar. Además, el Meteonorm tiene una desviación estándar mínima del 13% lo cual la variabilidad de la irradiancia es relativamente moderada, mientras que en las bases de datos del PVGIS y Nasa SEE tienen un 14% y 15% de desviación y esto significa que los datos de la irradiancia están más dispersos y con fluctuaciones amplias alrededor del valor medio, por lo tanto, se determina usar la base del Meteonorm por los enfoques del proyecto y las características ya descritas, el cual esta base cuenta con una mejor resolución temporal y espacial.

Después de seleccionar la base, en la Figura 17 se describe las HSP promedios, el cual se tiene 7.89 horas de irradiación máxima en el mes de noviembre, 3.08 horas de irradiación mínima en el mes de julio y 6.23 horas de irradiación promedio, el cual este último dato es un buen indicador para la producción óptima.

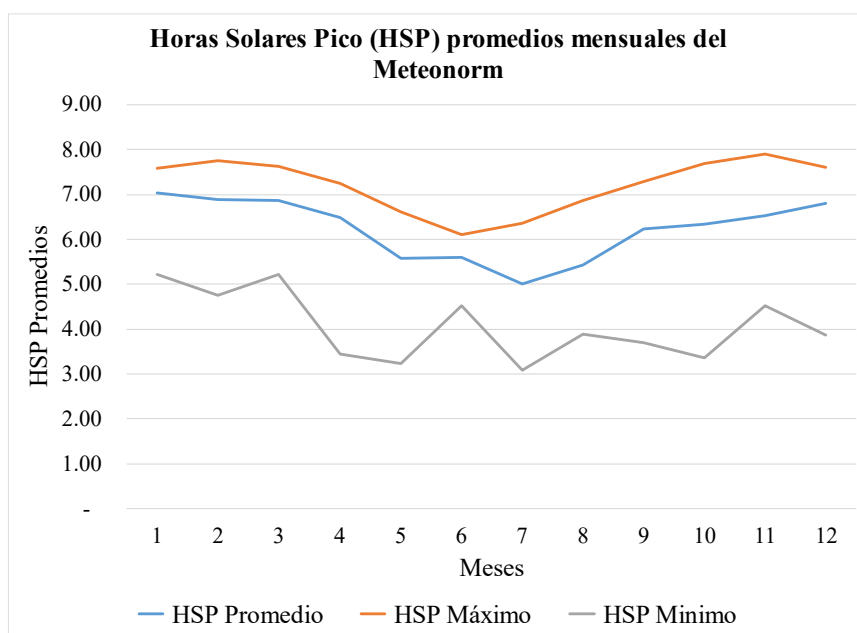


Figura 17. HSP promedios, máximos y mínimos de la base del Meteonorm.

4.2 Cálculo de demanda de energía

Según la información brindada, las cargas instaladas se dividen en 2 zonas, operación y campamento. La zona del campamento cuenta con cargas monofásicas y trifásicas a un voltaje de 220V, en la Tabla 9 se detalla las cargas del campamento.

Tabla 9*Cuadro de cargas de la zona del campamento de la agroindustria.*

Cant.	Descripción	Potencia unitaria (kW)	Potencia total (kW)	Horas de operación (h)	Energía (kWh/día)
2	Carpas de 16 dormitorios	6.10	12.20	12	146.40
1	Carpa comedor – Cocina	1.80	1.80	16	28.80
1	Módulo de vigilancia	0.30	0.30	12	3.60
1	Módulo de almacén	0.30	0.30	10	3.00

Mientras que las cargas de la zona de operación están conformadas por electrobombas que funcionan a un voltaje de 440V trifásico, la operación de estas electrobombas se da por horas establecidas el cual funcionan los 7 días a la semana durante todo el año. En la Tabla 10 se exponen las cargas instaladas.

Tabla 10*Cuadro de cargas de la zona operativa de la agroindustria.*

Cant.	Descripción	Potencia unitaria (kW)	Potencia total (kW)	Horas de operación (h)	Energía (kWh/día)
1	Bomba Sumergible	52.00	52.00	24	1224.00
1	Planta Osmosis	38.50	38.50	24	924.00
1	Electrobomba de Riego	37.50	37.50	13	487.50
2	Electrobomba de fertilizantes	6.50	13.00	7	91.00
1	Electrobomba de Mezcla	8.50	8.50	7	59.50
1	Electrobomba de agua sanitaria	4.50	4.50	5	22.50
1	Electrobomba cloro	1.50	1.50	5	7.50

En resumen, en la Tabla 11 se visualiza el cuadro general de la zona de operación y zona de campamento, donde el resultado de la carga instalada es de 169.50 kW y el consumo diario es de 2998.00 kWh/día.

Tabla 11

Cuadro de carga general de la agroindustria.

Cant.	Descripción	Potencia unitaria (kW)	Potencia total (kW)	Horas de operación (h)	Energía (kWh/día)
1	Bomba Sumergible	52.00	52.00	24	1224.00
1	Planta Osmosis	38.50	38.50	24	924.00
1	Electrobomba de Riego	37.50	37.50	13	487.50
2	Electrobomba de fertilizantes	6.50	13.00	7	91.00
1	Electrobomba de Mezcla	8.50	8.50	7	59.50
1	Electrobomba de agua sanitaria	4.50	4.50	5	22.50
1	Electrobomba cloro	1.50	1.50	5	7.50
1	Campamento	14.00	14.00	13	182.00

Después de obtener el cuadro de cargas de la agroindustria, se considerarán algunos factores importantes en las cargas el cual tendrán un impacto en la carga. En la Tabla 12 se visualizan los factores aplicados a las cargas, donde se tiene que el Factor de Potencia (FP) en condición de arranque y operación es 0.8 para todas las cargas, además el factor de diversidad o simultaneidad (FD) es 0.75 para las cargas de electrobombas de fertilizantes y cloro ello porque no estarán funcionando simultáneamente mientras lo demás sí, así mismo, se aplica los arrancadores de motor (motor stater) en las electrobombas de mayor potencia y funcionamiento el cual permitirá el arranque suave de los motores de las bombas evitando corrientes altas de arranque que pueden generar fluctuaciones en el sistema híbrido. Respecto a las cargas del

campamento, se le aplicara un factor de utilización del 14% indicando que solo el 14% de la carga se hará utilizara de manera continua y segura, siendo este 2. kW.

Tabla 12

Características del equipamiento de las cargas.

Ítem	Equipamiento	Potencia unitaria (kW)	FP en arranque	FP en operación	FD	Arrancador de motor
1	Bomba Sumergible	52	0.8	0.8	1	Conv. Frec.
2	Planta Osmosis	38.5	0.8	0.8	1	Conv. Frec.
3	Electrobomba de Riego	37.5	0.8	0.8	1	Conv. Frec.
4	Electrobomba de Fertilizantes	6.5	0.8	0.8	0.75	Conv. Frec.
5	Electrobomba de Mezcla	8.5	0.8	0.8	1	Conv. Frec.
6	Electrobomba de agua sanitaria	4.5	0.8	0.8	1	Conv. Frec.
7	Electrobomba Cloro	1.5	0.8	0.8	0.75	DOL
8	Campamento	14	0.8	0.8	1	NA

Con los detalles brindados en la Tabla 12, se calcula la potencia activa y aparente de las cargas en condiciones de arranque y operación. En la Tabla 13, se tiene como resultado que en condición de arranque la potencia activa total es 190 kW y la potencia aparente es 237 kVA y cuando las cargas entran a condición de operación la potencia activa es 153 kW y la potencia aparente 191 kVA a carga completa o Full Load, por lo que la demanda máxima que presenta la carga durante el día es 190 kW.

Tabla 13*Características del equipamiento de las cargas en condición de arranque y operación.*

	Descripción	Condición – Arranque			Condición – Operación		
		Corriente (A)	Pot. (kVA)	Pot. (kW)	Pot. (kVA)	Pot. (kW)	Corriente (A)
1	Bomba Sumergible	100.4	76.5	61.2	63.8	52.0	83.7
2	Planta Osmosis	75.8	57.8	46.2	48.1	38.5	63.1
3	Electrobomba de Riego	73.8	56.3	45.0	46.9	37.5	61.5
4	Electrobomba de Fertilizantes	19.2	14.6	11.7	12.2	9.8	16.0
5	Electrobomba de Mezcla	16.7	12.8	10.2	10.6	8.5	13.9
6	Electrobomba de agua sanitaria	8.9	6.8	5.4	5.6	4.5	7.4
7	Electrobomba Cloro	11.1	8.4	6.8	1.4	1.1	1.8
8	Campamento	17.4	4.0	3.2	2.5	2.0	10.9

Realizado el cálculo de la potencia activa a carga completa o Full Load. La Tabla 14 detalla el consumo de energía mensual y el consumo de energía anual siendo este de 844.91 MWh/año.

Tabla 14*Consumo de energía mensual de las cargas.*

Mes	Energía mensual (kWh)	Energía mensual (MWh)
Enero	71,563.50	71.56
Febrero	66,946.50	66.95
Marzo	71,563.50	71.56
Abril	69,255.00	69.26
Mayo	71,563.50	71.56
Junio	69,255.00	69.26
Julio	71,563.50	71.56
Agosto	71,563.50	71.56
Setiembre	69,255.00	69.26
Octubre	71,563.50	71.56
Noviembre	69,255.00	69.26
Diciembre	71,563.50	71.56

La Tabla 15 detalla la comparación de energía mensual de consumo tanto de día como de noche, donde el consumo de energía anual que se da durante el día es 305.52 MWh y de noche 740.37 MWh, siendo un 29% y 71% del consumo de energía respectivamente.

Tabla 15*Comparación de la energía mensual (durante el día y noche).*

Mes	Energía durante el día (MWh)	Energía durante la noche (MWh)
Enero	25.88	62.71
Febrero	24.21	58.66
Marzo	25.88	62.71
Abril	25.04	60.69
Mayo	25.88	62.71
Junio	25.04	60.69
Julio	25.88	62.71
Agosto	25.88	62.71
Setiembre	25.04	60.69
Octubre	25.88	62.71
Noviembre	25.04	60.69
Diciembre	25.88	62.71

La Figura 18 representa el perfil de carga de la agroindustria en base de los equipos en relación con el funcionamiento durante el día.

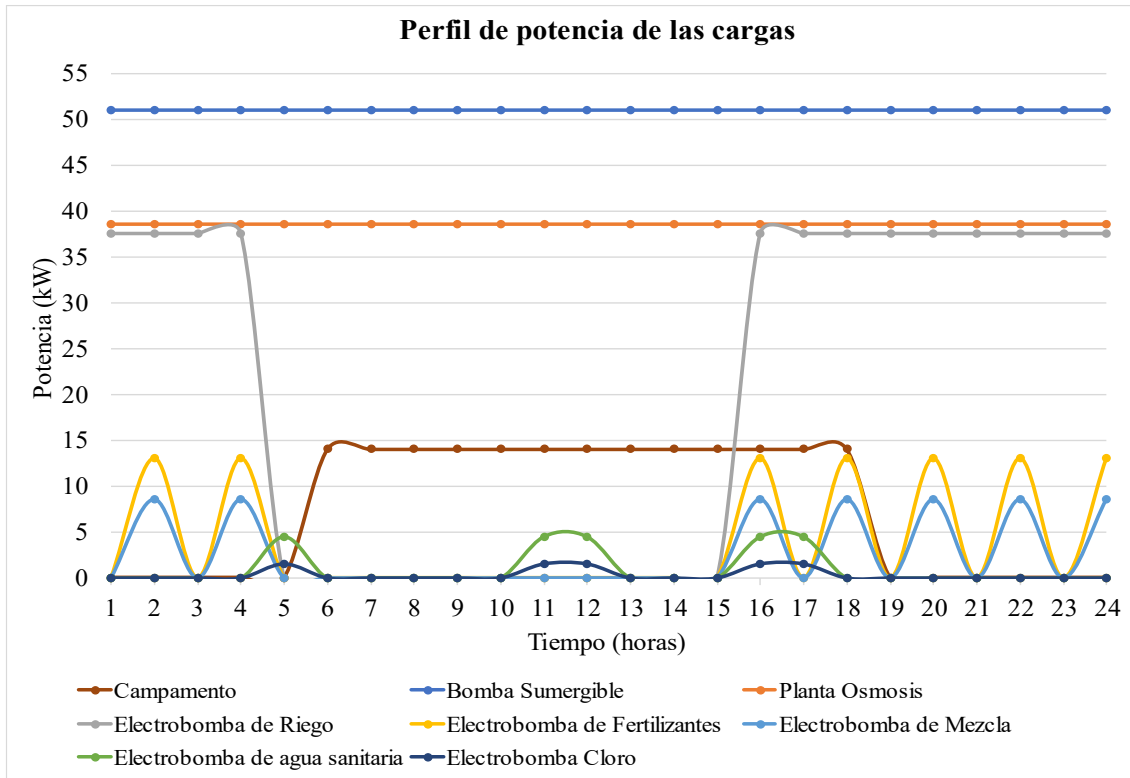


Figura 18. Perfil de potencia de la agroindustria en relación con las horas de funcionamiento durante el día.

4.3 Diseño del sistema híbrido

El sistema híbrido está conformado por tecnología fotovoltaica, almacenamiento energético en baterías y grupo electrógeno diésel, dicho diseño fue evaluado en base a su consumo de energía de la agroindustria. Los factores tomados en cuenta fueron los siguientes:

4.3.1 Inclinación

Para calcular la inclinación óptima (β) se aplicará la ecuación 12. Donde la latitud (Φ) del emplazamiento es 6.17° .

$$\beta = 3.7 + 0.69(\Phi) = 3.7 + 0.69(6.17)$$

$$\beta = 7.95^\circ \approx 8^\circ$$

Se tiene como inclinación óptima 8° , sin embargo, se optará por un valor más aproximado al estándar de fabricación de las estructuras de aluminio, el cual está de 10° a 15° , para nuestro proyecto será de 10° , ello permitirá aprovechar la máxima irradiancia solar durante su vida útil.

4.4 Dimensionamiento del sistema híbrido

4.4.1 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

Se aplicará la ecuación 13 para calcular la potencia preliminar.

$$P_{FV} = 190 \text{ kW} * 1 * 1.2 = 228 \text{ kWp}$$

Se obtuvo como resultado una potencia pico de 228 kWp, el cual este valor servirá como base para realizar el dimensionamiento y modelamiento con mayor precisión en el software Helioscope. Seguidamente, se describen las características primordiales del sistema fotovoltaico.

a. Módulo fotovoltaico

Se realizó un estudio y criterio técnico entre las marcas reconocidas a nivel mundial para la selección del módulo fotovoltaico, donde se opta por la marca TRINA SOLAR modelo VERTEX TSM-DE21 de 660Wp el cual pertenece a la clasificación de BloombergNEF List Tier 1 for Q2 2023 cumpliendo con certificaciones internacionales de operatividad y resistencia del módulo. Además, la operatividad del módulo seleccionado se adecua a las condiciones climatológicas del lugar como a la exposición de altas temperaturas el cual tienen una mejor gestión del calor y resistencia a la degradación UV, así mismo su tecnología Half Cell permite la optimización del rendimiento en condiciones donde exista sombras producidos por el polvo el cual es ventajosa para este tipo de zona árida.



Figura 19. Módulo fotovoltaico TRINA SOLAR de 660 Wp.

En la Tabla 16, se especifican las características eléctricas importantes del módulo solar fotovoltaico.

Tabla 16

Características eléctricas del módulo fotovoltaico TRINA SOLAR 660 Wp.

Datos eléctricos	STC	TONC
Potencia máxima	660 Wp	500 Wp
Tolerancia de potencia	0 ~ +5%	0 ~ +5%
Voltaje de máxima potencia	37.8 V	35.3 V
Corriente de máxima potencia	17.47 A	14.17 A
Tensión de circuito abierto	45.7 V	43 V
Corriente de corto circuito	18.53 A	14.93 A
Eficiencia (%)	21.2	21.2

b. Inversor solar

Para seleccionar y calcular la capacidad del inversor se usa la ecuación 15, se considera un factor de escala (FE) de 1.2 el cual está dentro del siguiente rango:

$$1.1 \leq FE \leq 1.5$$

$$FE = \frac{P_{Pico} (kW)}{P_{Nominal} (kW)} = \frac{237.5 kW}{1.25} = 190 kW$$

Se obtuvo como potencia nominal preliminar del inversor 190 kW, el cual para fines de simulación se optará por una potencia de 200 kW. Para la elección de la marca y modelo del inversor se realizó un estudio técnico de las marcas reconocidas a nivel mundial, donde se da por seleccionado la marca Solis el cual cumple con las especificaciones requeridas ya que este inversor cuenta con 10 MPPT y 20 entradas por MPPT, reduciendo las pérdidas por strings de los módulos FV y para el modelamiento se hace uso de dos inversores de 100 kW marca Solis, modelo S5-GC100K-HV.



Figura 20. Inversor Solis, modelo S5-GC100K-HV.

En la tabla 17, se explican las características importantes del inversor solar.

Tabla 17

Características eléctricas del inversor Solis, modelo S5-GC100K-HV.

Modelo	S5-GC100K-HV
Entrada (CD)	
Tensión de máxima entrada	1100 V
Tensión nominal	720 V
Rango del MPPT	180-1000 V
Corriente por MPPT	10*32 A
Corriente de cortocircuito por MPPT	10*40 A
Nro de MPPT/Nro máxima de cadenas	10/20
Salida (CA)	
Potencia nominal	100 kW
Potencia aparente	110 kVA
Potencia máxima	110 kW
Tensión nominal de red	3/PE, 480 V
Frecuencia	50 Hz / 60 Hz
Corriente máxima	132.3 A
Eficiencia	98.8%

4.4.2 Dimensionamiento del sistema BESS

Para establecer la capacidad del BESS, se evalúa la función del BESS que deberá de cumplir, para este caso la función será de respuesta rápida ante cambios de demanda

de energía y picos de arranque evitando fluctuaciones de voltaje y frecuencia, para ello se aplicará la ecuación 16, según la Tabla 13 la máxima demanda en condición de arranque es 190 kW y se da durante una hora a las 16 horas de cada día.

$$BESS_{Capacidad} = \frac{190 \text{ kW} * 1h}{80\% * 97.1\%} = 244.59 \text{ kWh}$$

Como resultado se tiene que la capacidad de almacenamiento del BESS es 244.59 kWh y según el mercado de los sistemas BESS se define usar la marca EverExceed modelo CO150K-300E el cual posee un almacenamiento de energía en baterías de 301,06 kWh. En la Tabla 18 se describen las características eléctricas del sistema BESS.

Tabla 18

Características eléctricas del sistema BESS CO150K-300E.

Modelo	CO150K-300E
PCS MEGA0150TS	
Potencia nominal	150 kW
Máxima Potencia	165 kVA
Rango de voltaje de entrada de la batería	420~850V
Voltaje Nominal de CA	400 VCA, 3W+PE
Rango de voltaje CA	320~460V
Frecuencia nominal	50Hz/60Hz
Corriente nominal CA	216A
Máxima Corriente CA	238A
Eficiencia	97.10%
Batería de litio de almacenamiento de energía ES563-280	
Tensión de batería	563.2V
Rango de voltaje de batería	475.2~633.6V
Capacidad de la batería	280Ah
Energía de la batería	157.69 kWh
Tipo de Batería	Batería LiFePO4
Ciclo de vida	≥6000 al 80% DOD

4.4.3 Dimensionamiento del grupo electrógeno

Se toma los datos de la Tabla 13 para el dimensionamiento del GE, donde se tiene un valor de potencia activa de 190 kW y potencia aparente 237 kVA en condiciones de “Arranque” mientras que en condiciones de “Operación” se tiene una potencia activa de 153 kW y potencia aparente de 191 kVA. La selección de la capacidad del grupo electrógeno se basará en la potencia activa y aparente en condiciones de “Arranque”. En base a lo descrito se seleccionó el grupo generador de la marca Rivera Diesel modelo RVS228-C el cual se ajusta a los valores establecidos por las cargas requeridas.

Tabla 19

Parámetros eléctricos del grupo electrógeno Rivera Diésel.

Modelo	RVS228-C
Frecuencia	60 Hz
Fases	3 fases
Voltajes configurables	220/380/440 V
Potencia en Stand By	228 kW (285 Kva)
Potencia en Prime	208 kW (260 Kva)
Corriente en Prime	341A
Factor de potencia	0.8

4.4.4 Selección del sistema de comunicación y control

Respecto a la configuración se seleccionó 3 controladores energéticos de la marca DEIF para cada sistema el cual permitirá una mejor gestión de energía, para el sistema solar fotovoltaico se seleccionó el controlador modelo ASC 150 Solar, el cual permitirá el control en el inversor fotovoltaico maximizando la penetración de energía, mientras que para el sistema de almacenamiento de baterías se seleccionó el controlador modelo ASC 150 Storage el cual permitirá responder ante picos de arranque de las cargas y ayudara la optimización del consumo de combustible del grupo electrógeno logrando su alta eficiencia y para el grupo electrógeno se seleccionó el controlador modelo AGC-4 Mk II el cual viabilizara el óptimo funcionamiento ante los demás sistemas. En la Tabla 20 se describen los gestores energéticos que componen el sistema híbrido.

Tabla 20

Equipos de control y medición del sistema híbrido.

Descripción	Equipo de control y medición
Sistema fotovoltaico (SFV)	Controlador ASC 150 SOLAR Solis Export Manager – EPM3-5G-PLUS
Sistema de almacenamiento en baterías (BESS)	Controlador ASC 150 STORAGE
Grupo electrógeno diésel (GE)	Controlador AGC-4 Mk II

El controlador ASC 150 SOLAR es compatible con los inversores de la marca Solis y con el modelo propuesto S5-GC100K-HV este equipo proporcionara un control al inversor de manera eficaz maximizando la generación y penetración de energía solar del inversor fotovoltaico. Este equipo se comunicará con el inversor con un cable de comunicación RS485.



Figura 21. Controlador ASC 150 Solar.

En la Tabla 21 se describen las principales características eléctricas del controlador ASC 150 SOLAR.

Tabla 21*Parámetros eléctricos del controlador ASC 150 SOLAR.*

Modelo	ASC 150 SOLAR
Medición AC	
Rango de fuente de alimentación	Voltaje nominal: 12V a 24V DC Rango de operación: 6.5 a 36V DC
Resistencia a la tensión	Polaridad inversa
Inmunidad a la caída de la fuente de alimentación	0 V CC durante 50 ms (procedente de mín. 6 V TI)
Protección contra descarga de carga de la fuente de alimentación	Descarga de carga protegida según IEC 60755 prueba A
Consumo de energía	5 W típico y 12 W máximo
Medición de voltaje	
Rango de voltaje	Rango nominal: 100 a 690 V fase a fase (por encima de 2000 m, reducción de potencia a máx. 480V)
Rango de frecuencia	3.5 a 75 Hz
Medición de corriente	
Rango de corriente	Nominal: -1 A y -5 A Rango: 2 a 300 %
Número de entradas CT	4
Máx. corriente medida	3 A (-1) y 15 A (-5)

Para el monitoreo externo del sistema fotovoltaico se usará un Export Power Manager (EPM) modelo EPM3-5G-PLUS este equipo será el encargado de procesar y leer los parámetros eléctricos y enviar los datos a un sitio web en tiempo real. Además, este equipo es compatible con el modelo de inversor seleccionado el cual tendrá una comunicación RS485 con el inversor.



Figura 22. Export power manager EPM3-5G-PLUS.

Tabla 22

Parámetros eléctricos del Solis Export Manager EPM3-5G-PLUS.

Modelo	EPM3-5G-PLUS
Entrada AC	
Tensión de operación	400 V, 3/N/PE
Rango de tensión	L a L: 320~480 V
Rango de frecuencia	45~65 H
Comunicación	
Comunicación inversora	Modbus RS485
Interfaz	2pin RS485, RJ45
Distancia máx. de comunicación	1000 m
Monitoreo	Caja WiFi EPM (Integrado)

En cuanto a la selección del controlador de almacenamiento se eligió el modelo ASC 150 Storage, donde tendrá el propósito de optimizar la energía del BESS para ahorrar combustible y/o aprovechar cualquier excedente del SFV este equipo cuenta con un sistema de comunicación CAN bus y/o Ethernet el cual se comunicará con los demás controladores del sistema híbrido. Mientras que la comunicación con el BESS será con el RS485 de 2 pin.



Figura 23. Controlador ASC 150 Storage.

En la Tabla 23 se describen las principales características eléctricas del controlador ASC 150 Storage.

Tabla 23

Parámetros eléctricos del controlador ASC 150 STORAGE.

Modelo	ASC 150 STORAGE
Medición AC	
Voltaje	100 a 690V (Fase – fase)
Corriente	-/1 A o -/5 A (2 a 300 %) _u +-1 %
Frecuencia	3.5 a 75 Hz
Energía	+ - 1%
Fuente de alimentación	
Voltaje nominal	12/24 V DC
Rango de operación	6.5 a 36 V DC
Protección Load dump	ISO16750-2
Rango de medición	0 a 36 V DC

Con respecto a la selección del controlador del grupo electrógeno se escogió el controlador AGC-4 Mk-II, tendrá la finalidad de controlar y gestionar el grupo electrógeno, optimizando su operación con la integración del SFV y el BESS. La comunicación del equipo con el grupo electrógeno será también por cable RS485. En la Tabla 24 se describen las características eléctricas del controlador AGC-4 Mk-II.

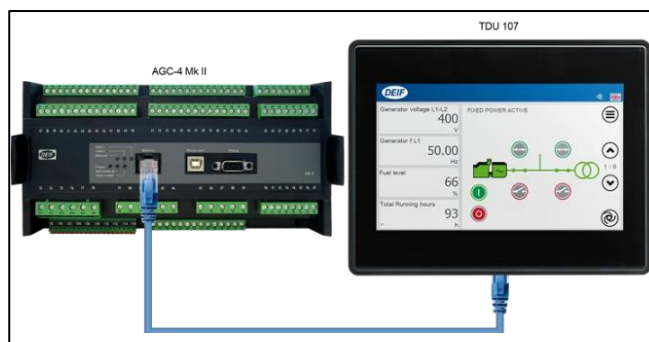


Figura 24. Controlador AGC-4 MkII.

Tabla 24

Parámetros eléctricos del controlador AGC-4 Mk-II.

Modelo	AGC-4 Mk-II
Mediciones de tensión	
Valor nominal (Un)	Bajo: $100 \leq U_n \leq 240$ V Alto: $240 < U_n \leq 690$ V
Mediciones de corriente	
Valor nominal (IN)	Bajo: 1 A AC del transformador de corriente Alto: 5 A AC del transformador de corriente
Rango de medida	Bajo: 0.005 hasta 4 A Alto: 0.025 hasta 20 A

4.4.5 Simulación del Software Helioscope

En primer lugar, se escoge la marca y modelo del módulo fotovoltaico en la sección de Mechanical del Helioscope, donde se selecciona el módulo TRINA SOLAR modelo VERTEX TSM-DE21 de 660Wp, en el que al realizar el modelamiento y según lo calculado en el apartado 4.4.1. se tiene un sistema fotovoltaico de 232.3 kW, este sistema consta de 352 módulos los cuales se distribuyen en 8 arreglos fotovoltaicos conformados por 44 módulos, el cual ocupan un área total de 1,683.8 m². Los arreglos del sistema fotovoltaico están en dirección al noreste con una inclinación de 10° y azimut 31°. Posteriormente se seleccionó el tipo de inversor en la sección de Electrical, el cual se escogió la marca Solis y modelo S5-GC100K-HV (100kW) en el Helioscope y según los cálculos realizados en el apartado 4.4.1., se hará uso de 2 inversores de 100 kW, el cual

176 módulos fotovoltaicos se distribuyen a cada inversor. La Figura 25 detalla la distribución de los 4 combiner box del sistema, donde 2 combiner son de 4 strings (19 módulos conectados en serie por String) y los 2 son de 5 strings (20 módulos conectados en serie por String).

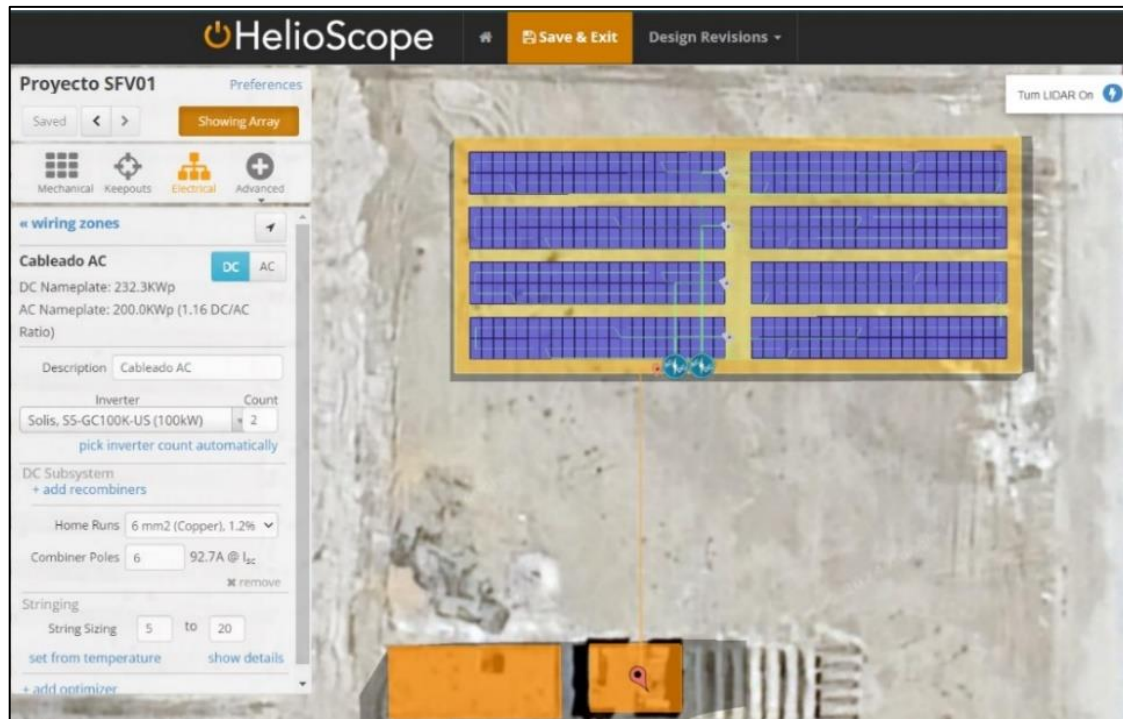


Figura 25. Elección del módulo e inversor solar del SFV de 232.3 kWp.

4.4.6 Reporte de energía y perdidas

Para el reporte de energía y rendimiento del sistema FV se toma los datos meteorológicos del Meteonorm, dado que tiene los datos más completos en cuanto a parámetros necesarios y con la que el software Helioscope hará el reporte de energía. En la Figura 26 se selecciona la base de datos en la sección de Conditions Sets.

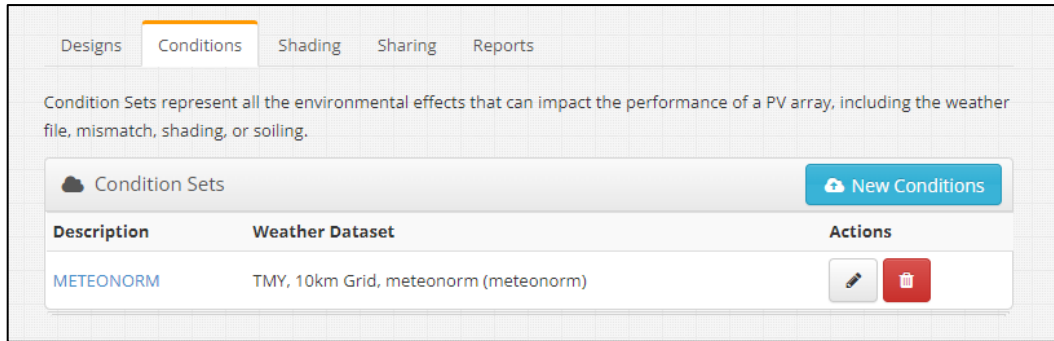


Figura 26. Selección de datos meteorológicas en el software Helioscope.

En la Figura 27 se resumen las métricas del sistema fotovoltaico modelado en el Helioscope, donde se tiene una producción de energía anual de 395.5 MWh, también se muestra la métrica que mide la eficiencia del SFV el cual es de 1702.6 kWh/kWp que significa que en condiciones típicas generara 1702.6 kWh por cada kWp en un año. Finalmente se muestra que el Performance Ratio (PR) es de 82.6%.

System Metrics	
Design	Proyecto SFV01
Module DC Nameplate	232.3 kW
Inverter AC Nameplate	200.0 kW Load Ratio: 1.16
Annual Production	395.5 MWh
Performance Ratio	82.6%
kWh/kWp	1,702.6
Weather Dataset	TMY, 10km Grid, meteonorm (meteonorm)
Simulator Version	7a6b52022d-5554200697-79929be547-88e0aaf1ce

Figura 27. Métricas del sistema fotovoltaico de 232.3 kWp.

Respecto a la generación mensual del SFV, la Figura 28 muestra que en el mes de marzo se tiene una producción de 37,767.1 kWh y una mínima producción en el mes de Julio con 28,360.2 kWh.

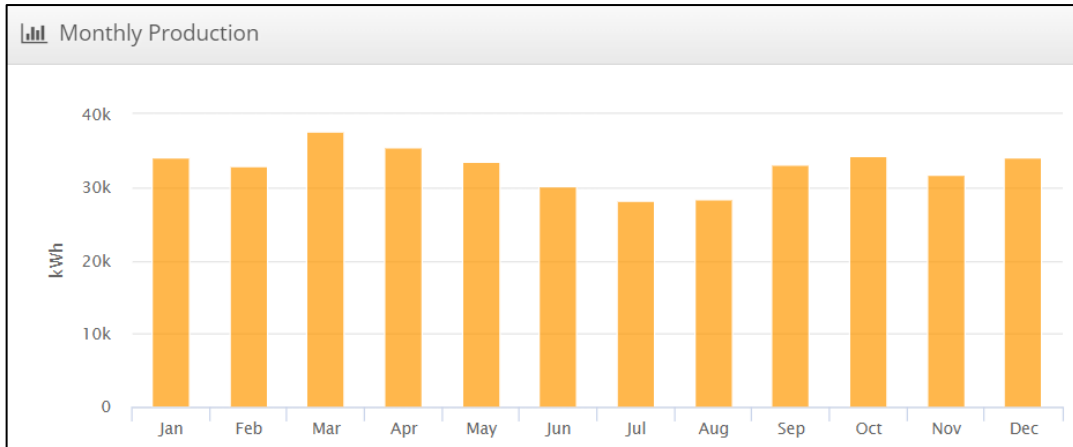


Figura 28. Reporte de producción mensual de energía del SFV de 232.3 kWp.

Sobre el reporte de pérdidas de energía del SFV del Helioscope. La Figura 29 se describe que el SFV tendrá mayores pérdidas por temperatura de un 5.2% seguidos por perdidas de Mismatch con un 3.3% y perdidas mínimas en lo que referencia a otros factores.

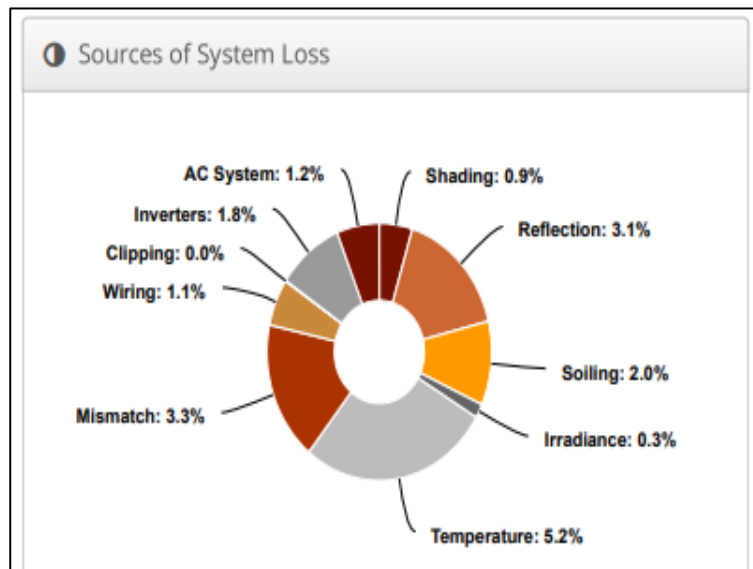


Figura 29. Reporte de fuentes de pérdida del sistema fotovoltaico de 232.3 kWp.

4.5 Optimización y simulación del Software Homer Pro

4.5.1 Introducción de datos

Para simular y optimizar el sistema híbrido que está constituido de un sistema fotovoltaico, sistema BESS y grupo electrógeno se procede a introducir la ubicación (latitud y longitud) del emplazamiento en la ventana principal del software.

4.5.2 Demanda eléctrica

Los valores de potencia de las cargas se subirán al software Homer Pro, estos valores se toman de la Tabla 12. En la ventana Electric Load se apreciará el perfil diario, el perfil promedio y el perfil anual de las cargas introducidas, el cual nos dan una visión más clara del comportamiento de estas mismas. La energía diaria promedio es de 2998 kWh/día, este valor se introducirá en las métricas del Homer Pro, además, se realiza la actualización de la variabilidad de las cargas, donde se define que el day-to-day sea 4% ya que no habrá mucha variación en las cargas de un día a otro a excepción de las cargas del campamento el cual serán mínimas y también se le da un valor al Timestep del 2.5% el cual refiere que las cargas se analizaran y simularan en intervalos de 0.6 horas y 9.125 días, permitiendo así una mejor resolución de datos.

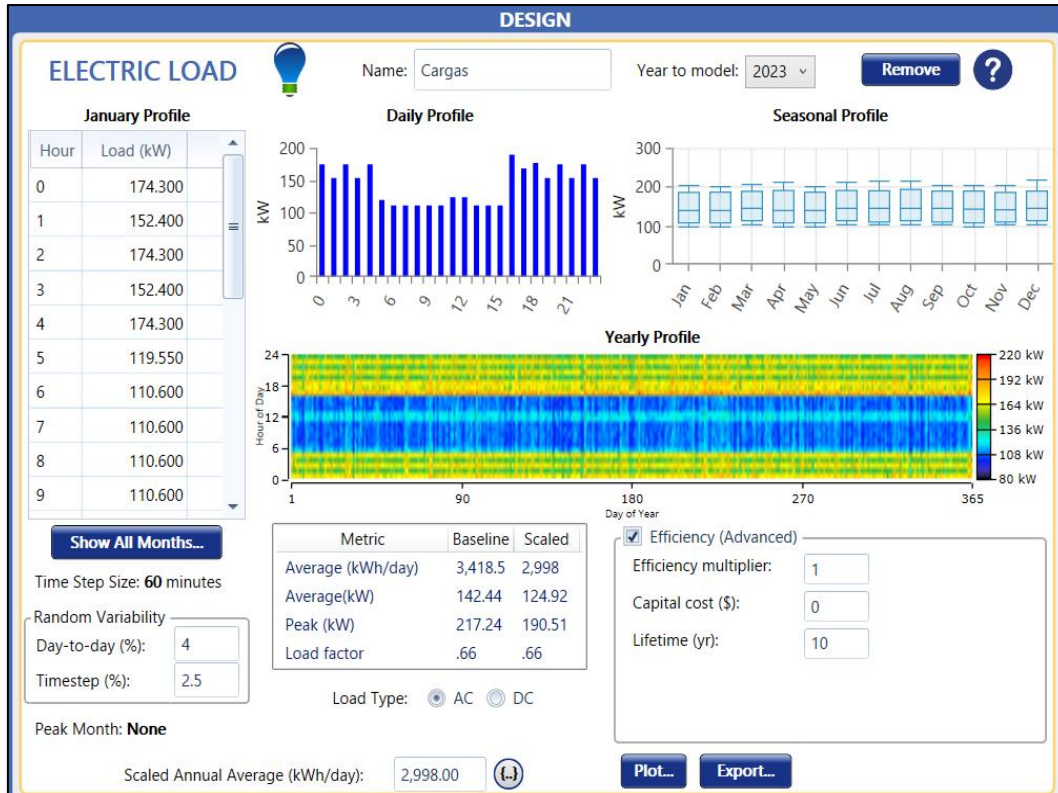


Figura 30. Introducción de la carga eléctrica en el Homer Pro.

4.5.3 Configuración del sistema híbrido

La Figura 31 se aprecia la configuración del sistema de generación híbrida, donde los sistemas de generación como el sistema fotovoltaico de 232.3 kWp, el sistema BESS con capacidad de almacenamiento de 300 kWh y potencia de descarga de 150kW y el grupo electrógeno de 208 kW (modo Prime) se conectan paralelamente a un bus AC.

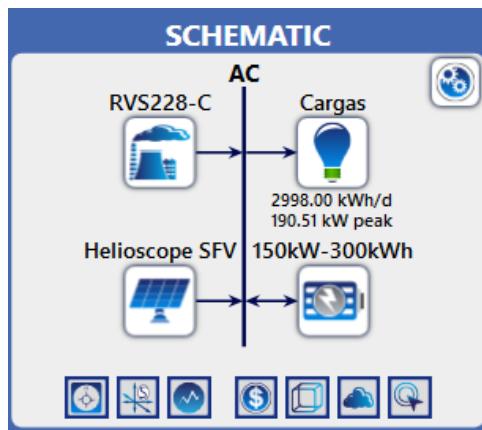


Figura 31. Configuración del sistema híbrido.

4.5.4 Simulación del sistema híbrido

a. Grupo electrógeno

El Homer Pro cuenta con una biblioteca donde se pueden encontrar diferentes marcas y modelos. En nuestro caso se usará el grupo electrógeno de la marca Rivera Diesel, modelo RVS228-C que cuenta con una potencia de 208 kW en modo Prime. En la Figura 32 se aprecia los perfiles de potencia del grupo electrógeno en función a los meses del año, donde se visualiza que en mayor parte la operación del grupo se limita a la máxima demanda de las cargas el cual está comprendido desde las 17 o 18 horas hasta las 6 o 7 de la mañana, actuando durante toda la noche, por otro lado, también se observa que existen periodos cortos de 30 minutos a 1 hora donde el grupo electrógeno da su máxima potencia a 208 kW.

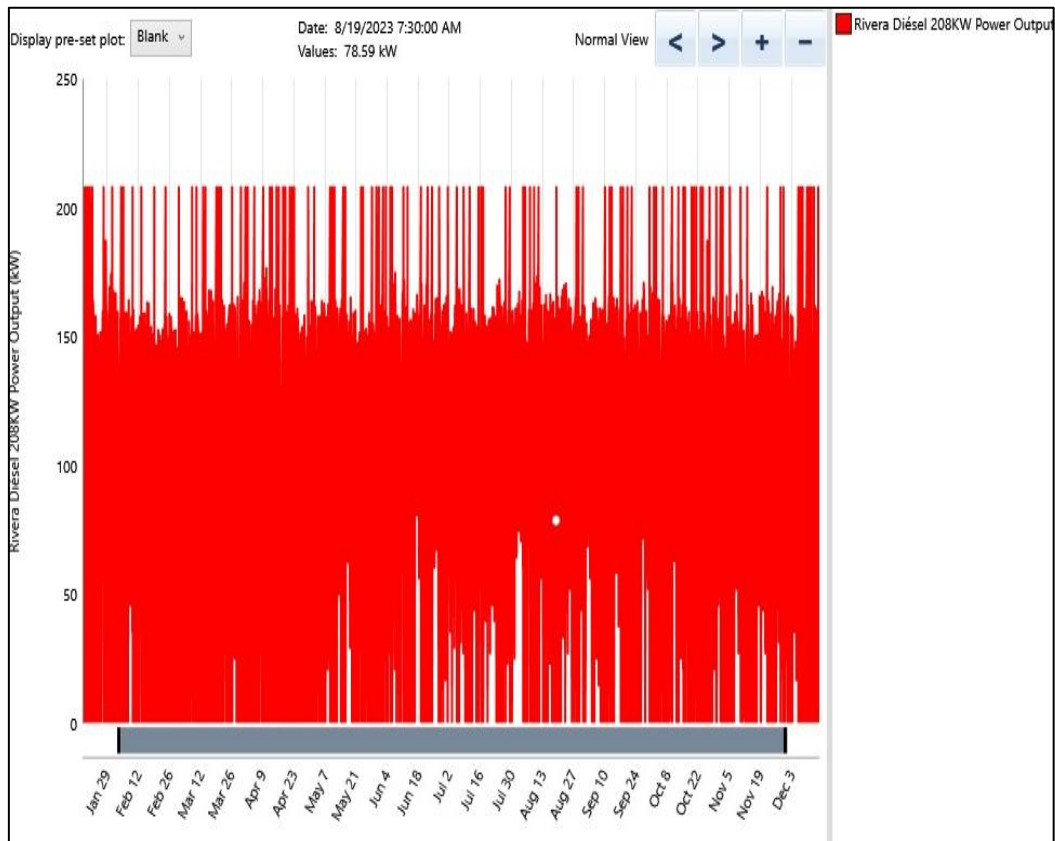


Figura 32. Simulación de las curvas de potencia del RVS228-C.

Además, en la Figura 33, se contrasta las horas en la que entra a operar el grupo electrógeno durante todo el año, determinando que durante el día la operación del grupo electrógeno es casi nula, el cual beneficia la vida útil a 9.66 años y en relación a ello las horas de operación acumuladas son de 6,209 hrs/año de operación con 11,255 números de inicios de arranque por año. Mientras, que en la Figura 34, se tiene que el consumo de combustible es 219,589 L, con un consumo de combustible por día de 602 L/día y por hora de 25.1 L/h, donde la producción anual del GE es 789,407.00 kWh/año, dándonos un consumo específico de 0.278 L/kWh con eficiencia de 36.5 %.

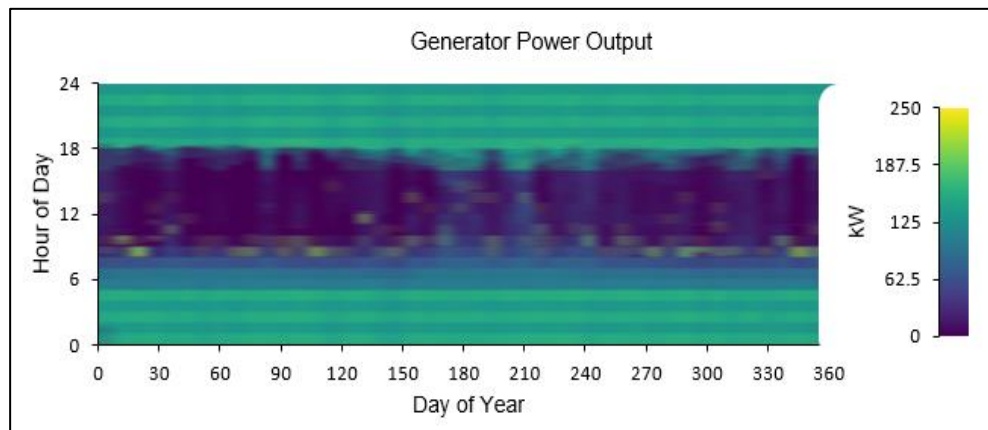


Figura 33. Salida de potencia del RVS228-C durante los días del año.

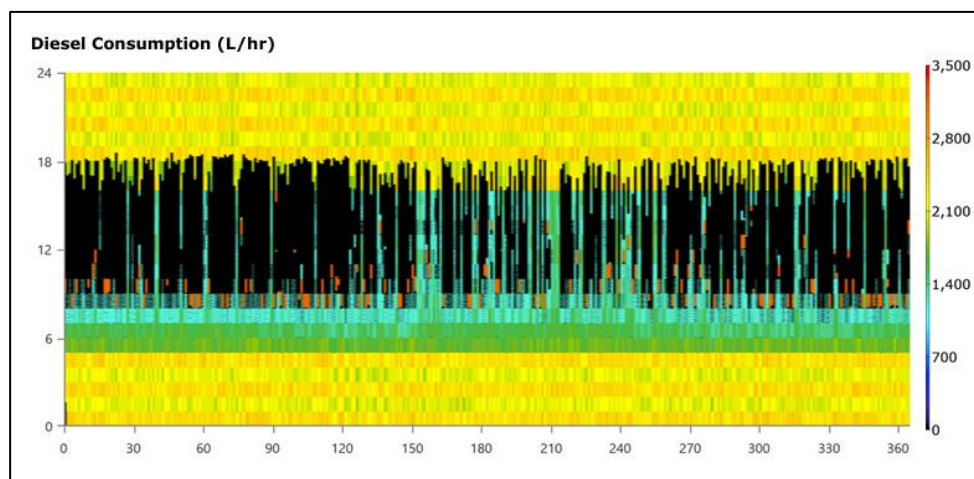


Figura 34. Características de consumo del combustible del RVS228-C.

b. Sistema fotovoltaico

En la simulación del sistema fotovoltaico, se tomaron valores ya modelados en el Helioscope el cual los datos fueron importados en archivo CSV al Homer Pro. Lógicamente que al importar los datos de generación también se importan los datos meteorológicos con la que fueron simulados en el Helioscope, esto permitirá una mejor simulación.

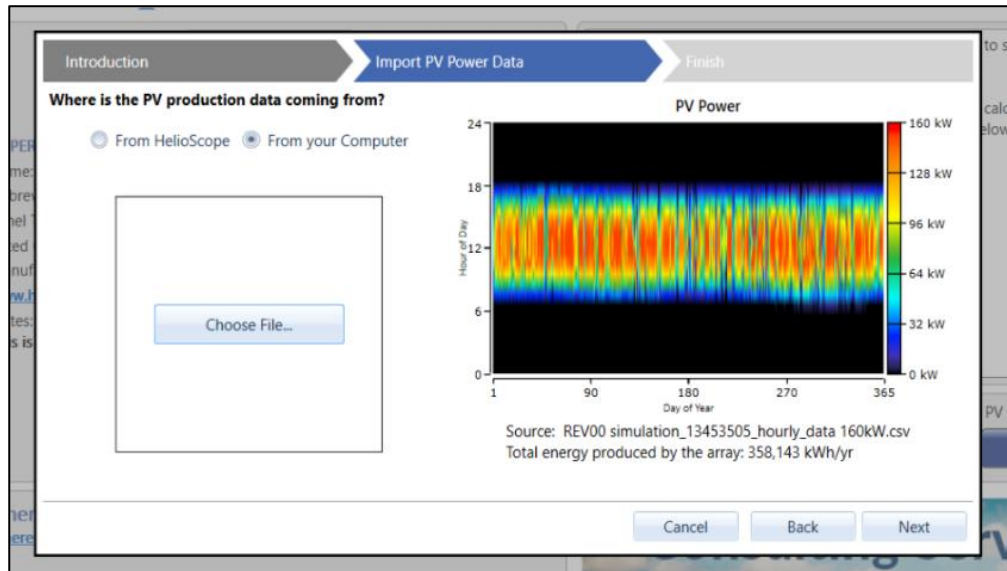


Figura 35. Importación de datos del SFV modelado en el Helioscope al Homer Pro.

En la Figura 36 se visualizan la potencia máxima del SFV con relación a los meses de año, el cual su operación se da mayormente durante el día, observándose una máxima potencia de 193 kW. Seguidamente en la Figura 36 en el Gráfico Helioscope SFV Output (kW) se muestra que la generación fotovoltaica va desde las 7 de la mañana hasta las 18 horas, dando como punto de inflexión entre las 10 de la mañana hasta las 14 horas, ya que es donde el SFV pueda dar su máximo potencial, además se muestra que entre los días 170 a 250 la producción solar baja moderadamente ello producto al cambio de estación del año. Todo ello conlleva a que el sistema opere 4,360 hrs/año dando una producción media durante el año de 892 kWh/día con un factor de capacidad del 18.6 %.

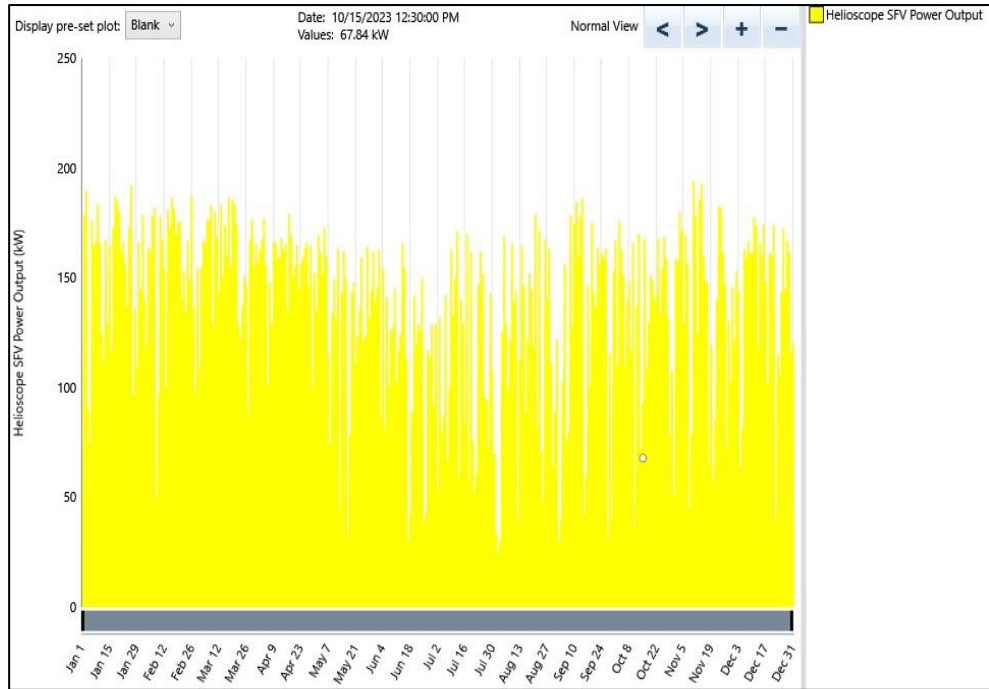


Figura 36. Simulación de las curvas de potencia de salida del SFV en el Homer Pro.

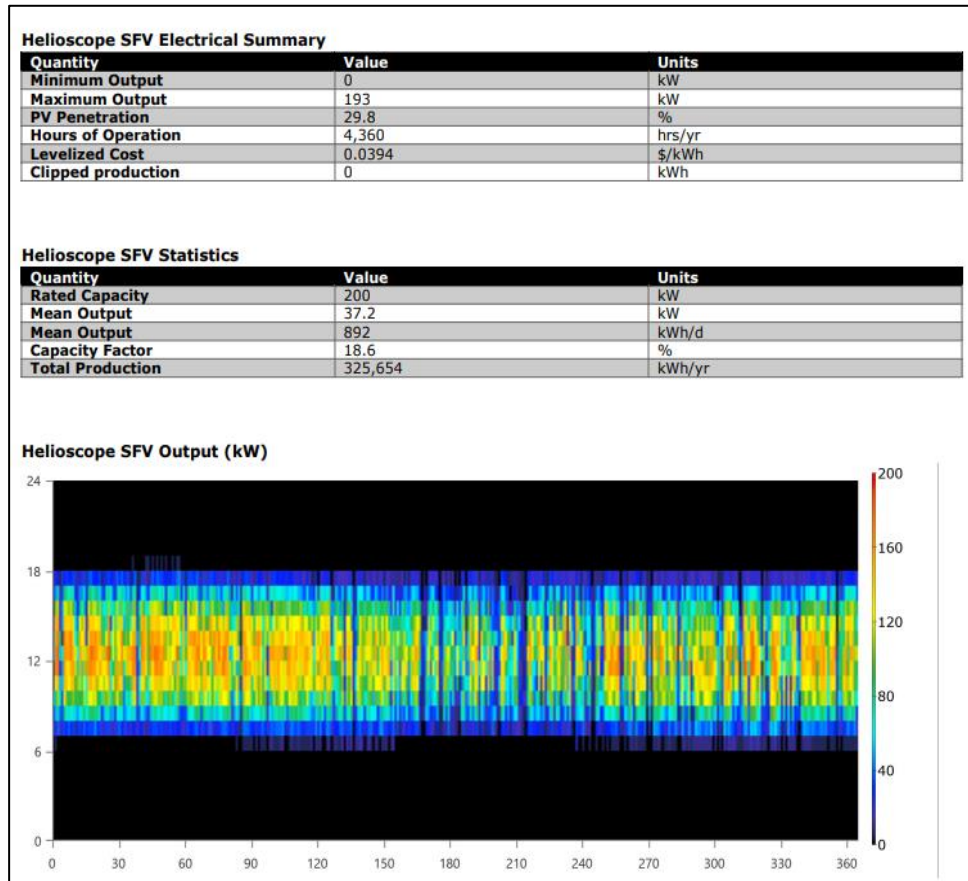


Figura 37. Potencia de salida máxima anual del sistema fotovoltaico.

c. Sistema BESS

Se introduce algunos parámetros importantes en el Homer para simular el sistema BESS CO150K-300E de la marca EverExceed. En la Figura 38 se ven las simulaciones de potencia de entrada de carga y descarga del BESS, donde la potencia máxima de descarga fue de -166.3 kW y la carga máxima que recibió el BESS fue 206.83 kW en el año. Además, el sistema BESS está diseñado para contraer los picos de corrientes que puedan existir en las cargas y sobre todo para evitar una sobrecarga del GE cuando se activan múltiples cargas en paralelo.

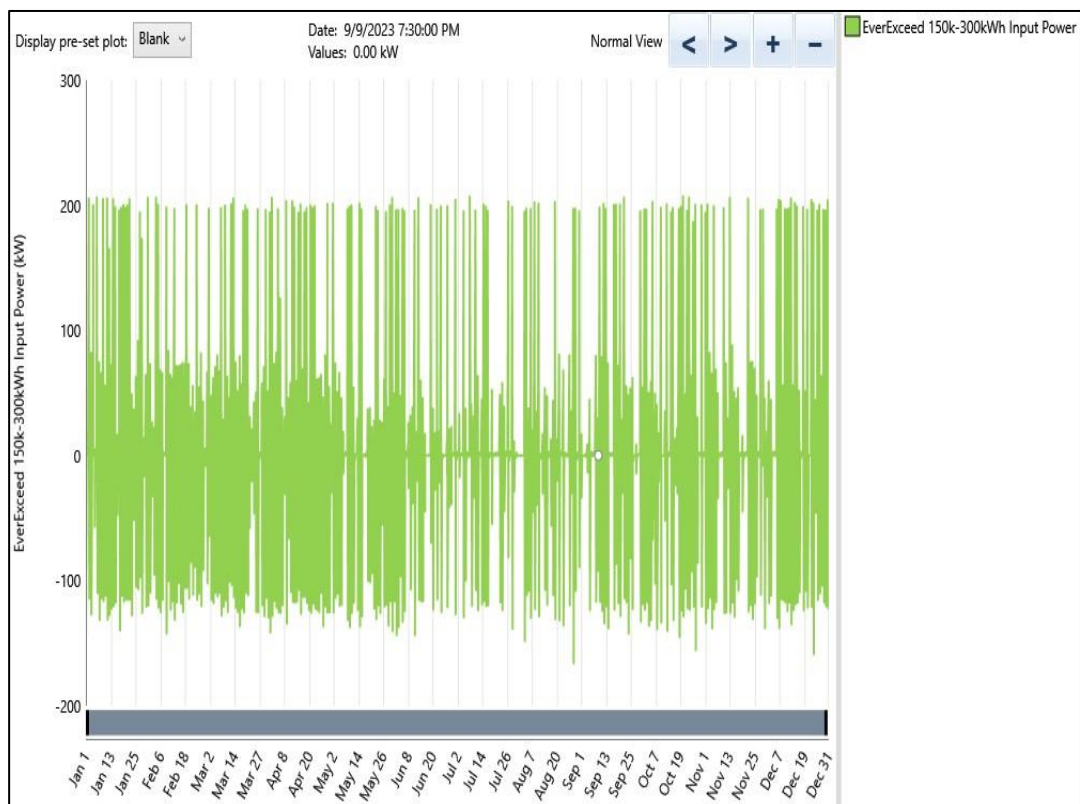


Figura 38. Simulación de curvas carga y descarga del CO150K-300E.

Finalmente, en la Figura 39, en el gráfico EverExceed 150k-300kWh State of Charge se visualiza el estado de carga y descarga del sistema BESS, el cual durante el día el BESS se carga al 100% con la energía fotovoltaica y a medida que transcurre el día, a partir de las 14 o 15 horas la batería empieza a descargarse al 20%, producto de que algunas cargas entran en paralelo generando un consumo elevado de energía. También podemos observar que la energía total

de entrada (Energy In) es 70,078 kWh/año y energía total de salida (Energy Output) es 63,309 kWh/año, con unas pérdidas de energía del 7,021 kWh/año, precisar que el sistema cuenta con 2.02 horas de autonomía lo que hace factible que responda ante picos de arranques y sobrecargas en el GE, por último, el rendimiento anual (Annual Throughput) del sistema BESS es de 66,734 kWh/año.

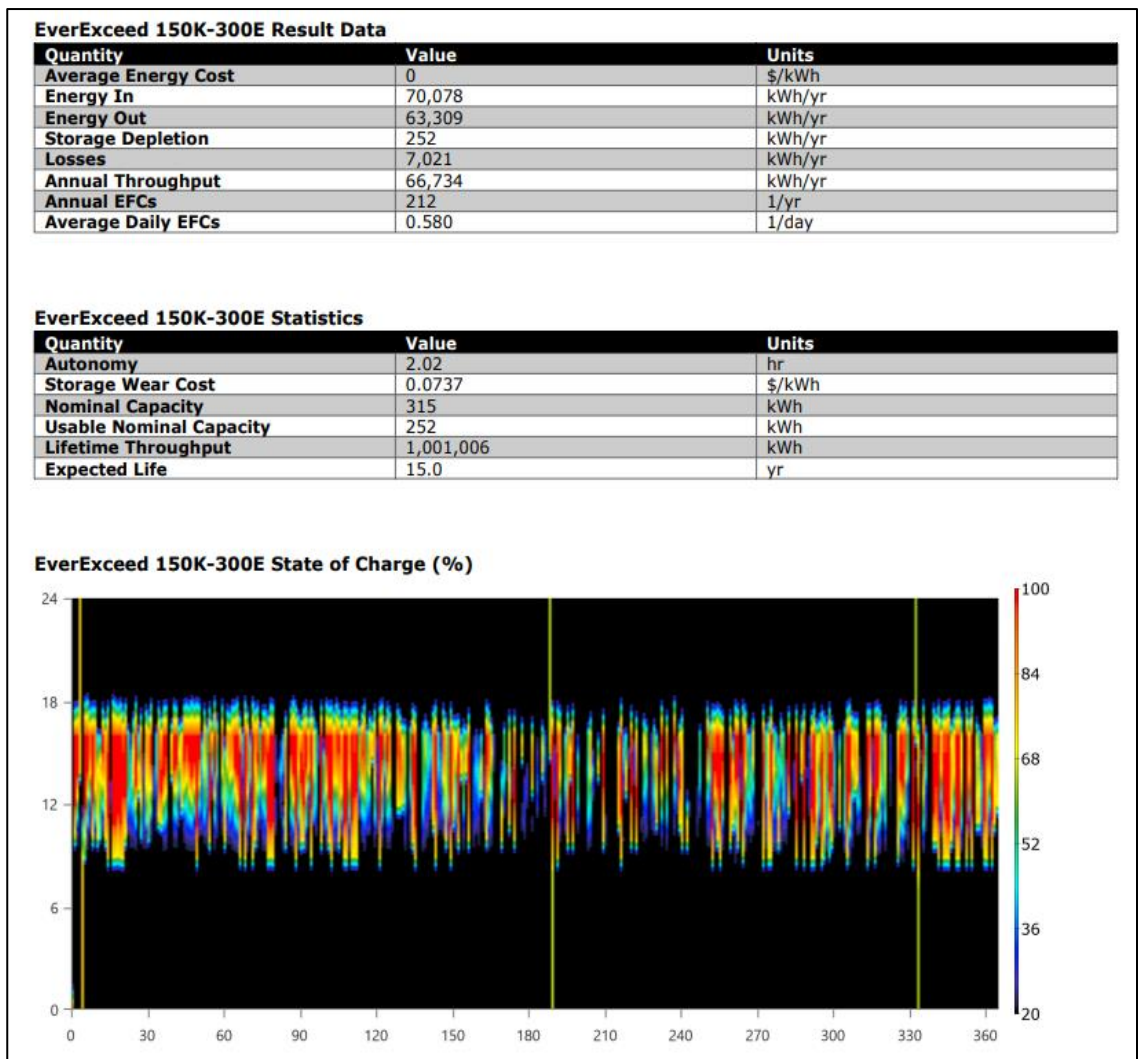


Figura 39. Energía almacenada en el sistema BESS CO150K-300E durante el año.

Finalmente, la simulación del sistema híbrido en conjunto se basó en un tiempo de vida de 25 años. La Figura 40, muestra que el GE genera 790,602.00 kWh/año que equivale el 70.8% y el sistema fotovoltaico 325,654.00 kWh/año equivalente al 29.2% del total de energía, mientras que el total de energía de la carga es de 1,094,270.00 kWh/año, comparando la producción y el consumo se tiene un exceso de energía de 15,217.00

kWh/año, esta energía es aprovechada para la carga del sistema BESS, evitando así el desaprovechamiento de la energía. Para resumir el comportamiento del sistema híbrido con las cargas en la Figura 41 se observa las curvas de generación de energía, los estado de carga y descarga y el consumo de la carga eléctrica.

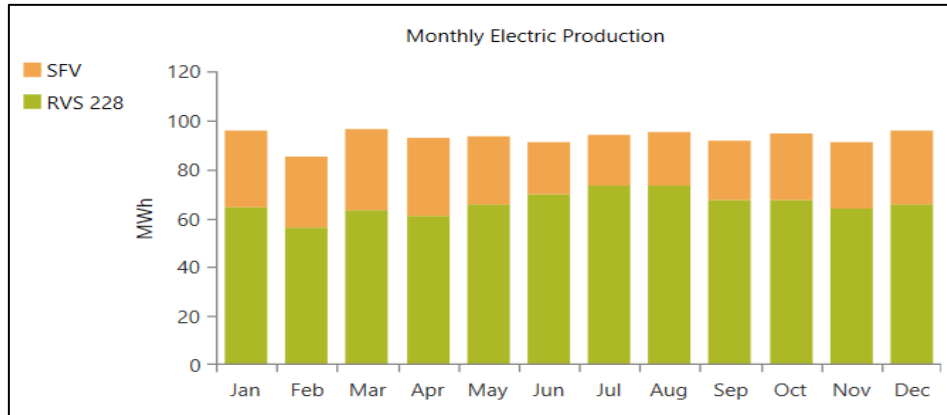


Figura 40. Producción eléctrica mensual del sistema de generación del sistema híbrido.

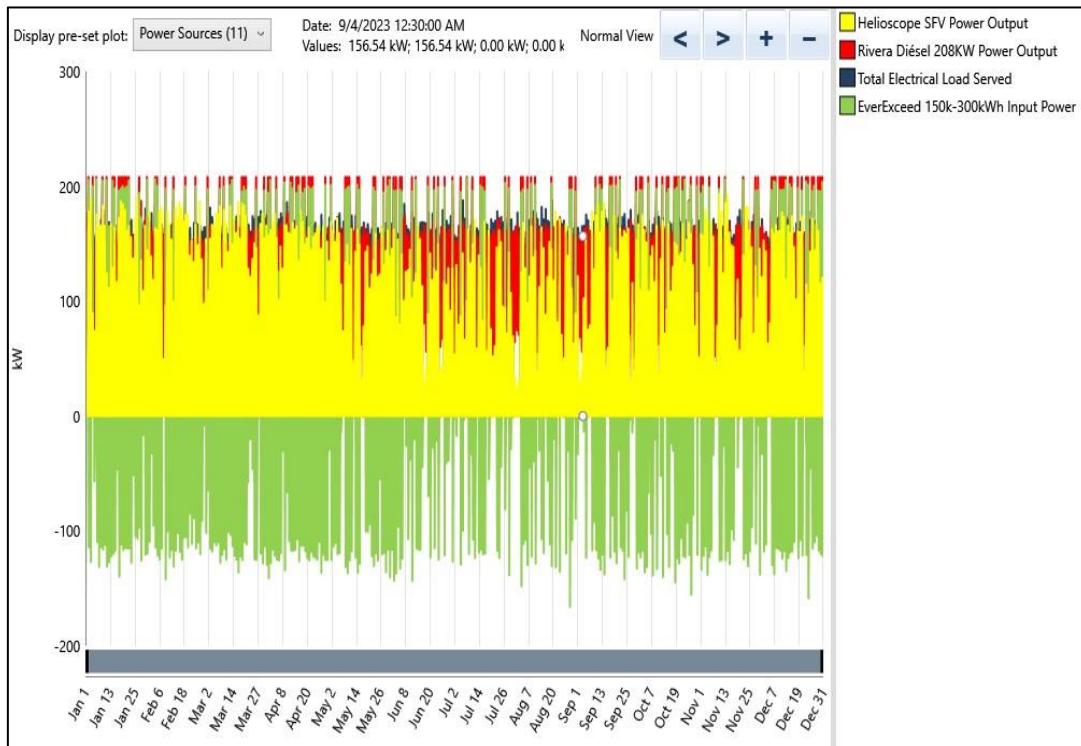


Figura 41. Simulación del sistema híbrido (SFV, BESS y Grupo Electrónico).

4.6 Cálculo de conductores y protecciones eléctricas en DC y AC

4.6.1 Cableado y protección del SFV

Se determina el diámetro del cable desde los Strings de los módulos FV hacia los inversores, donde, la I_{mpp} del módulo fotovoltaico es de 17.47 A por lo tanto viene a ser la misma corriente para el String, además, la V_{mpp} es de 756V por String. Por último, se considera una caída de tensión no mayor al 1% y con todos esos datos usamos la ecuación 19 para los cálculos. Realizado el cálculo de la sección transversal por String, en la Tabla 25 se detallan lo siguiente:

Tabla 25

Cálculo de sección de los conductores de cada Combiner Box del sistema FV.

Combiner Box	Strings	$L_{String}(m)$	$S_{String} (mm^2)$
Combiner Box 01	String FV01	52.90	5.6
	String FV02	52.90	5.6
	String FV03	53.80	5.7
	String FV04	53.80	5.7
	String FV05	53.80	5.7
Combiner Box 02	String FV01	46.63	4.9
	String FV02	46.63	4.9
	String FV03	47.53	5.0
	String FV04	47.53	5.0
Combiner Box 03	String FV01	43.02	4.5
	String FV02	43.02	4.5
	String FV03	43.92	4.6
	String FV04	43.92	4.6
	String FV05	43.92	4.6
Combiner Box 04	String FV01	36.75	3.9
	String FV02	36.75	3.9
	String FV03	37.65	4.0
	String FV04	37.65	4.0

Luego de haber reemplazado los datos en la ecuación 19, se tiene una sección mínima de 4 mm² y máxima de 5.6 mm² que por criterio se escoge un cable superior a lo calculado el cual viene a ser de 6 mm² tipo H1Z2Z2-K de 1500V DC del fabricante Mígueles que es un cable estándar y comercial.

Finalmente, se calcula las protecciones en DC para cada Strings de los módulos fotovoltaicos, para lo cual se usarán interruptores termomagnéticos en DC, donde deberán de soportar el 125% de la corriente de cortocircuito del sistema FV. El I_{sc} de cada strings es de 18.53 A, el cual al multiplicar por el 125% se obtiene una corriente calculada de 23.16 A, tomando ese valor se define usar interruptores termomagnéticos DC bipolar de 25 A para cada strings el cual estarán dentro de cada Combiner Box.

Mientras, para el tramo del cableado AC desde los inversores fotovoltaicos hacia un tablero general (TG) este tiene una distancia de 39.5m. Para realizar la selección del conductor partiremos de la corriente máxima del inversor que es de 132.3 A, la tensión de trabajo es a 440V trifásico y el factor de potencia (FP) será 0.8 esto debido a sus cargas, por último, la caída de tensión admisible es del 3%, sin embargo, optaremos por una caída de tensión del 1.5%.

$$S_{Inversor-TG} = \frac{\sqrt{3} * 39.5 * 132.3 * 0.8}{1.5\% * 440 * 44} = 24.94 \text{ mm}^2$$

Se tiene como sección de cable calculada de 24.94 mm², por lo que se escoge un cable inmediato que es 25 mm² en la marca El Cope tipo N2XOH, en este tramo se enviaran 2 ternas de cables. Posteriormente se calcula la protección del inversor el cual se multiplica la corriente por el 125%, dando como resultado 165.38 A por lo que se opta por usar dos interruptores de caja moldeada de 3 polos de 200 A por cada inversor.

4.6.2 Cableado y protección AC del BESS

Para la sección del cable del BESS CO150K-300E se usa la ecuación 20, donde, se toman los parámetros eléctricos a tomar del BESS el cual se visualiza en la Tabla 18, este sistema tiene un rango de tensión de 320~460V y una corriente máxima de salida de 238A. Este sistema estará a una distancia del 10 m del TG con una caída de tensión del 1%, estos valores nos ayudaran a determinar la sección.

$$S_{BESS-TG} = \frac{\sqrt{3} * 14 * 238 * 1}{1\% * 440 * 44} = 29.81 \text{ mm}^2$$

La sección calculada es de 29.81 mm². Revisando la ficha técnica del cable Indeco Freetox N2XOH la sección inmediata será de 35 mm². Respecto al cálculo de la llave de protección le dará un margen adicional de 125% a la corriente máxima del BESS por lo que nos da 297.5 A, donde se selecciona un interruptor de caja moldeada comercial de 3 polos de 300 A.

4.6.3 Cableado y protección AC del Grupo Electrónico

Se determinará el diámetro del cable del RVS228-C, se usará la ecuación 20, para este sistema se considera una distancia de 20 m del GE al TG. El grupo electrónico tiene una corriente Prime de 341A y una tensión de 440V.

$$S_{GE-TG} = \frac{\sqrt{3} * 20 * 341 * 0.8}{1\% * 440 * 44} = 48.75 \text{ mm}^2$$

Revisando la tabla del fabricante del cable N2XOH se selecciona el cable de 50 mm² el cual saldrá una terna de cables hacia el TG. Para seleccionar la capacidad de la llave de protección a la corriente del GE se le multiplica por el 125% de su capacidad, dando 426.25 A, de modo que se escoge una llave comercial de 3 polos de 450 A.

4.7 Medrado y presupuesto del proyecto

A continuación, en las siguientes Tablas 26, 27 y 28 se muestra el medrado y los costos del suministro asociados al sistema fotovoltaico, sistema BESS y grupo electrónico, mientras que en la Tabla 29 se presenta el resumen de costos asociados al sistema híbrido el cual incluye el suministro, mano de obra, gastos generales y transporte.

Tabla 26*Metrado y costo de suministro del sistema fotovoltaico de 232.2 kWp.*

Ítem	Descripción	Cant	Und	Costo unitario (\$)	Subtotal (\$)
1.0 Arreglo fotovoltaico					
1.1	Módulo fotovoltaico Trina Solar 660Wp	352	Und	177.49	62,475.49
1.2	Estructura Hopergy de 10° 2x22	8	Set	1,086.56	8,692.48
1.3	Dados de concreto de 20x20x40	128	Und	60.00	7,680.00
2.0 Inversor y monitoreo					
2.1	Inversor Solis Trifásico S5-GC100K-HV	2	Und	5,783.40	11,566.80
2.2	Export Power Manager EPM 3P 5G PLUS	1	Und	712.80	712.80
2.3	DataLogger S2-WL-ST	2	Und	64.80	129.60
2.4	Gestor energético DEIF ASC SOLAR	1	Und	2,950.00	2,950.00
3.0 Elementos de conexión y protección					
3.1	Cable Solar H1Z2Z2-K de 6 mm ²	1000	m	0.86	860.00
3.2	Cable Indeco N2XOH unipolar de 25 mm ²	237	m	3.24	648.38
3.3	Cable El Cope desnudo tierra de 6 mm ²	100	m	0.66	65.58
3.4	Cable El Cope desnudo tierra de 25 mm ²	79	m	2.73	273.28
3.5	Llave termomagnética DC 2P 25A	18	Und	19.44	349.92
3.6	Llave termomagnética AC 3P 200A	2	Und	142.88	285.76
4.0 Ferretería eléctrica		1	Glb	6,000.00	6,000.00
Costo total del suministro					102,690.10

Tabla 27*Metrado y costo de suministro del sistema BESS CO150K-300E.*

Ítem	Descripción	Cant	Und	Costo unitario (\$)	Subtotal (\$)
1.0	Sistema BESS y monitoreo				
1.1	Sistema BESS CO150K-300E	1	Und	72,538.15	72,538.15
1.2	Gestor energético DEIF ASC Storage	1	Und	2,950.00	2,950.00
2.0	Elementos de conexión y protección				
2.1	Cable Indeco N2XOH unipolar de 35 mm ²	100.00	m	4.49	448.97
2.2	Cable El Cope desnudo Tierra de 35 mm ²	100.00	m	3.83	382.61
2.3	Llave termomagnética AC 3P 300A	1.00	Und	738.51	738.51
3.0	Ferretería eléctrica	1	Glb	3,000.00	3,000.00
Costo total del suministro					80,058.24

Tabla 28*Metrado y costo del suministro del Grupo Electrógeno RVS228-C.*

Ítem	Descripción	Ct	Und	Costo unitario (\$)	Subtotal (\$)
1.0	Grupo eléctrico y monitoreo				
1.1	Grupo Electrogeno Rivera Diesel RVS228-C KW, 208 kW (Prime)	1	Und	43,576.00	43,576.00
1.2	Gestor energético DEIF AGC-4 Mk II	1	Und	4,559.06	4,559.06
2.0	Elementos de conexión y protección				
2.1	Cable Indeco N2XOH unipolar de 50mm ²	100.	m	6.14	613.76
2.2	Cable El Cope desnudo Tierra de 50mm ²	100.	m	5.47	546.55
2.3	Llave termomagnética AC 3P 450A	1.00	Und	818.29	818.29
3.0	Ferretería varia	1.00	Glb	2,000.00	2,000.00
Costo total del suministro					52,113.66

Tabla 29*Resumen del costo total del sistema híbrido.*

Descripción	Cant	Und	Precio unitario (\$)	Subtotal (\$)
Sistema Fotovoltaico de 232.3 kWp				
Suministro	1	Glb	102,690.10	102,690.10
Mano de obra	1	Glb	25,000.00	25,000.00
Gastos generales	1	Glb	10,000.00	10,000.00
Transporte	1	Glb	16,060.99	16,060.99
<i>SUB TOTAL</i>				153,751.09
Sistema BESS EverExceed CO150K-300E				
Suministro	1	Glb	\$80,058.24	80,058.24
Mano de obra	1	Glb	\$12,000.00	12,000.00
Gastos generales	1	Glb	\$5,000.00	5,000.00
Transporte	1	Glb	\$3,641.56	3,641.56
<i>SUB TOTAL</i>				100,699.80
Sistema Grupo Electrónico RVS228-C				
Suministro	1	Glb	52,113.66	52,113.66
Mano de obra	1	Glb	6,500.00	6,500.00
Gastos generales	1	Glb	5,000.00	5,000.00
Transporte	1	Glb	3,584.42	3,584.42
<i>SUB TOTAL</i>				67,198.07
<i>TOTAL</i>				321,648.96

4.8 Optimización del sistema híbrido

Después de haber determinado el presupuesto para cada sistema, estos valores se ingresan al Homer Pro para que realice una optimización y sensibilización técnica financiera, el cual el resultado de la simulación del Homer Pro dio 256 soluciones, donde 184 son viables y 36 no viables debido a diferentes factores técnicos. De las cuales 5 soluciones son viables tanto técnicas como económicamente, y son: el sistema fotovoltaico, grupo electrónico y el

almacenamiento de energía en baterías, sistema fotovoltaico y grupo electrógeno, grupo electrógeno y, grupo electrógeno y almacenamiento de energía en baterías, el cual se aprecia en la Figura 42. Cada simulación muestra el costo neto presente y el LCOE. Para nuestro caso el primer sistema se adecua tanto técnica como económicamente dando un valor del costo nivelado de energía de \$0.235/ kWh

Architecture				Cost				System		
Heliosco (kV)	RVS228-C (kW)	150k	NPC (\$)	LCOE (\$/kWh)	Operating cost (\$/yr)	CAPEX (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	Hours	Production (kWh)
200	208	2	\$3.79M	\$0.235	\$235,346	\$321,649	27.9	219,589	6,209	789,407
200	208		\$3.97M	\$0.246	\$253,840	\$220,949	21.6	241,276	7,238	857,930
	208		\$4.75M	\$0.294	\$317,566	\$67,198	0	305,211	8,760	1,094,270
	208	2	\$4.92M	\$0.305	\$322,251	\$167,898	0.0219	305,146	8,758	1,094,031

Figura 42. Optimización del sistema híbrido en el Homer Pro.

4.9 Evaluación económica

4.9.1 Costo del Sistema Híbrido

Luego de haber realizado el presupuesto de cada sistema, estos valores se introducen al Homer Pro para el análisis financiero. El sistema fotovoltaico (SFV) tiene un costo capital de \$153,751.09, respecto al costo anual de O&M se considera un 2% del costo total capital, mientras que su costo anualizado de O&M durante su vida útil será de \$44,257.24. Para el sistema de almacenamiento el costo capital del sistema BESS EverExceed CO150K-300E es \$100,699.80, su costo por reemplazo es \$51,662.70 esto a que su vida útil de las baterías es de 15 años, ahora para el costo anual de O&M se considera un 2% del costo capital del sistema, mientras que su costo anualizado de O&M es \$29,504.83. Finalmente, el grupo electrógeno RVS228-C tiene un costo capital de \$67,198.06, donde su costo de reemplazo es \$72,152.49, respecto al costo anual de O&M se considera un 2.3%, mientras que el costo anualizado del O&M es de \$22,649.67, por ultimo los costos del combustible consumido es \$3,271,856.53, a todo ello el costo proyectado a 25 años es de \$3,793,573.26 con un costo nivelado de energía en \$0.235. En la Figura 43, se muestra el Costo Neto Presente anualizado de todo el sistema híbrido.

Component	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$)	Fuel (\$)	Salvage (\$)	Total (\$)
▷ EverExceed 150K-300E	\$100,699.80	\$51,662.70	\$29,504.83	\$0.00	-\$11,036.25	\$170,831.08
▷ Helioscope SFV	\$153,751.09	\$0.00	\$44,257.24	\$0.00	\$0.00	\$198,008.33
▷ Rivera Diésel 208KW	\$67,198.06	\$72,152.49	\$22,649.67	\$3,271,856.53	-\$9,122.91	\$3,424,733.85
System	\$321,648.95	\$123,815.19	\$96,411.74	\$3,271,856.53	-\$20,159.16	\$3,793,573.26

Figura 43. Costo Neto Presente anualizado del sistema híbrido en Homer Pro.

Respecto a los mantenimientos que se realizarán en la Tabla 30 se detallan las actividades del mantenimiento preventivo de cada sistema.

Tabla 30

Actividades del mantenimiento preventivo del sistema híbrido.

Sistema	Actividades	Frecuencia
Sistema fotovoltaico	Inspección visual	Mensual
	Limpieza de módulos solares	Mensual
	Inspección de las estructuras	Semestral
	Inspección de los inversores	Mensual
	Pruebas eléctricas en AC y DC	Anual
	Inspecciones termográficas	Anual
	Revisión de conexiones eléctricas	Semestral
Sistema BESS	Inspección visual	Mensual
	Inspección de las baterías y PCS	Mensual
	Verificación del sistema de refrigeración	Semestral
	Inspecciones termográficas	Semestral
	Pruebas eléctricas en AC y DC	Semestral
Grupo electrógeno	Revisión de conexiones eléctricas	Semestral
	Actualización del software y firmware	Anual
	Cambio de aceite y filtros	Trimestral
	Revisión del sistema de refrigeración	Trimestral
	Inspecciones termográficas	Trimestral
	Revisión de conexiones eléctricas	Trimestral
	Cambio de aceite y filtros	Trimestral

Mientras que para el mantenimiento correctivo en la Tabla 31 se detalla las actividades a realizar, precisar que este tipo de mantenimiento se da cuando se diagnostican fallas o alarmas del sistema realizado en un mantenimiento preventivo.

Tabla 31

Actividades del mantenimiento correctivo del sistema híbrido.

Sistema	Actividades
Sistema fotovoltaico	Diagnóstico de fallas
	Reparación de componentes defectuosos
	Pruebas de Funcionamiento Post-Reparación
	Reemplazo programado de equipos por deterioro o falla
	Verificación de conexiones eléctricas
	Diagnóstico de las causas del problema
	Seguimiento y evaluación
Sistema BESS	Diagnóstico de fallas
	Reparación de componentes defectuosos
	Pruebas de Funcionamiento Post-Reparación:
	Reemplazo programado de equipos por deterioro o falla
	Verificación de conexiones eléctricas
	Diagnóstico de las causas del problema
	Seguimiento y evaluación
Grupos electrógenos	Diagnóstico de fallas
	Reparación de componentes defectuosos
	Pruebas de Funcionamiento Post-Reparación:
	Reemplazo programado de equipos por deterioro o falla
	Verificación de conexiones eléctricas
	Diagnóstico de las causas del problema
	Seguimiento y evaluación

4.9.2 Flujo de caja del sistema híbrido

La Figura 44, muestra que el flujo de caja anualizado está dado por el capital de color morado, la operación de color celeste, el combustible de color rojo, los reemplazos de amarillo y los ingresos salvados con color azul, esta grafica muestra que el mayor costo es el uso del combustible del grupo electrógeno con valor de \$221,784.50 cada año. El segundo costo mayor son los reemplazos entre el grupo electrógeno y el sistema BESS, donde se tiene 2 reemplazos cada 10 años del grupo electrógeno, el cual el costo por reemplazo es \$67,198.06 mientras que la batería solo tiene un reemplazo cada 15 años con un costo de \$100,699.80, después se tienen costos de operación anuales con \$6,535.32, finalmente el valor del salvamento o residual es \$61,313.80 al final de su operación.

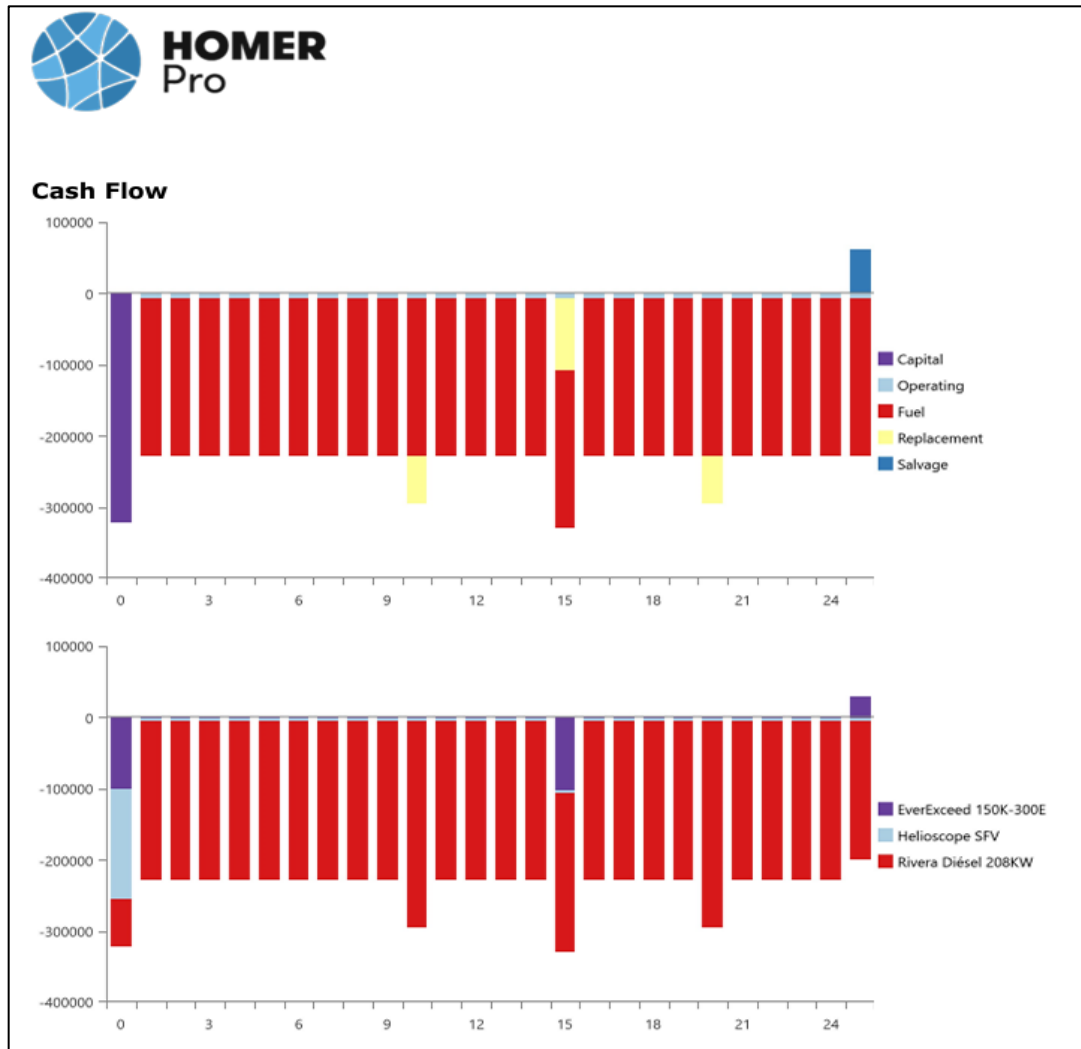


Figura 44. Flujo de caja del sistema propuesto en el Homer Pro.

Luego se aprecia el flujo de caja del caso base (grupo electrógeno RVS228-C) y el caso propuesto (sistema fotovoltaico de 232.3 kWp, sistema BESS CO150K-300E y el Grupo electrógeno RVS228-C) en la Figura 45, al hacer esta comparación se reduciría los costos operativos a \$235,346 año, teniendo un retorno de inversión de 3.1 años, TIR del 33% y con un LCOE de \$0.235kWh.

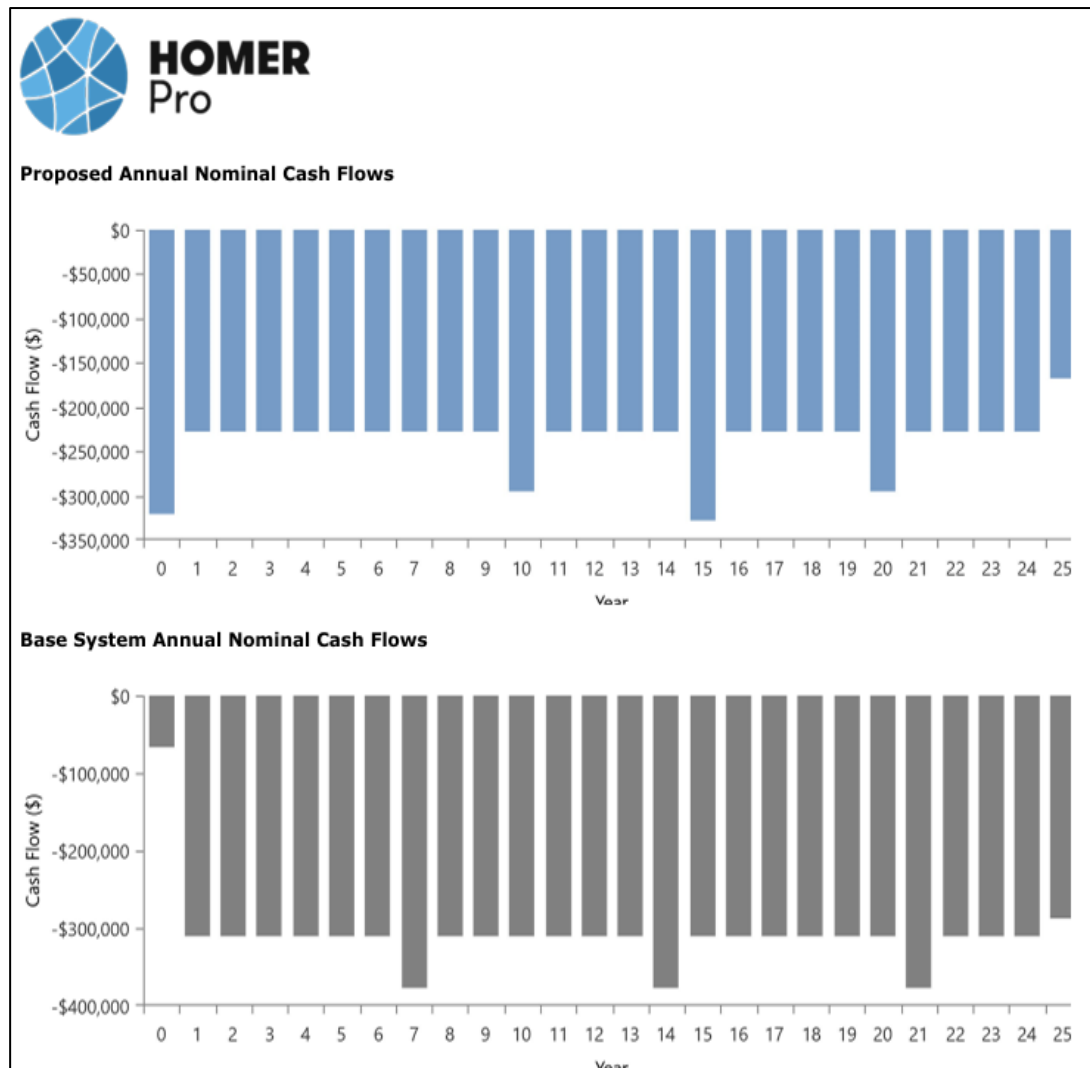


Figura 45. Flujo de caja del sistema caso base y propuesto.

Tabla 32*Flujo acumulado del sistema caso base y del propuesto.*

Año	Gastos - Propuesto (\$)	Combustible Diésel - Caso Propuesto (\$)	Flujo de Caja Anual -Caso Propuesto (\$)	Gastos - Caso Base (\$)	Combustible Diésel - Caso Base (\$)	Flujo de Caja Anual - Caso Base (\$)
0	-321,648.95		-321,648.95	-67,198.00		-67,198.00
1	-6,535.00	-221,785.00	-228,320.00	-2,166.00	-308,263.00	-310,429.00
2	-6,535.00	-221,785.00	-228,320.00	-2,166.00	-308,263.00	-310,429.00
3	-6,535.00	-221,785.00	-228,320.00	-2,166.00	-308,263.00	-310,429.00
4	-6,535.00	-221,785.00	-228,320.00	-2,166.00	-308,263.00	-310,429.00
5	-6,535.00	-221,785.00	-228,320.00	-2,166.00	-308,263.00	-310,429.00
6	-6,535.00	-221,785.00	-228,320.00	-2,166.00	-308,263.00	-310,429.00
7	-6,535.00	-221,785.00	-228,320.00	-69,364.00	-308,263.00	-377,627.00
8	-6,535.00	-221,785.00	-228,320.00	-2,166.00	-308,263.00	-310,429.00
9	-6,535.00	-221,785.00	-228,320.00	-2,166.00	-308,263.00	-310,429.00
10	-73,733.00	-221,785.00	-295,518.00	-2,166.00	-308,263.00	-310,429.00
11	-6,535.00	-221,785.00	-228,320.00	-2,166.00	-308,263.00	-310,429.00
12	-6,535.00	-221,785.00	-228,320.00	-2,166.00	-308,263.00	-310,429.00
13	-6,535.00	-221,785.00	-228,320.00	-2,166.00	-308,263.00	-310,429.00
14	-6,535.00	-221,785.00	-228,320.00	-69,364.00	-308,263.00	-377,627.00
15	-107,235.00	-221,785.00	-329,020.00	-2,166.00	-308,263.00	-310,429.00
16	-6,535.00	-221,785.00	-228,320.00	-2,166.00	-308,263.00	-310,429.00
17	-6,535.00	-221,785.00	-228,320.00	-2,166.00	-308,263.00	-310,429.00
18	-6,535.00	-221,785.00	-228,320.00	-2,166.00	-308,263.00	-310,429.00
19	-6,535.00	-221,785.00	-228,320.00	-2,166.00	-308,263.00	-310,429.00
20	-73,733.00	-221,785.00	-295,518.00	-2,166.00	-308,263.00	-310,429.00
21	-6,535.00	-221,785.00	-228,320.00	-69,364.00	-308,263.00	-377,627.00
22	-6,535.00	-221,785.00	-228,320.00	-2,166.00	-308,263.00	-310,429.00
23	-6,535.00	-221,785.00	-228,320.00	-2,166.00	-308,263.00	-310,429.00
24	-6,535.00	-221,785.00	-228,320.00	-2,166.00	-308,263.00	-310,429.00
25	-6,535.00	-221,785.00	-228,320.00	-2,166.00	-308,263.00	-310,429.00

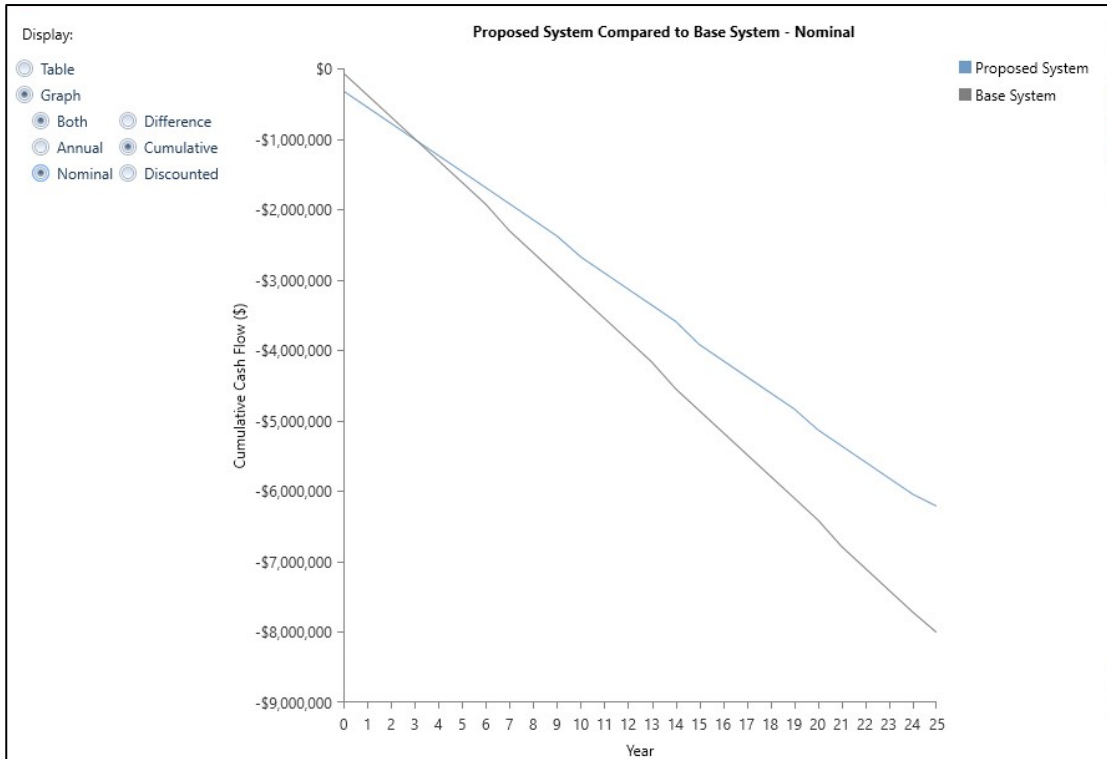


Figura 46. Flujo de caja acumulado en caso base y propuesto en el Homer Pro.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Al analizar el recurso solar de las diferentes fuentes, se concluye que la base de datos del Meteonorm cuenta con una mejor cobertura y resolución espacial y temporal, donde su desviación estándar es 13% el cual la dispersión de la irradiancia es baja asegurando una mayor precisión y garantizando un rendimiento consistente. Los valores promedios diarios de la irradiancia solar muestran valores mínimos de 279.64 W/m²/día y máximos de 686.36 W/m²/día, donde las HSP mínimas son 3 horas y máximas de 7.89 horas, dando un promedio de 6.23 horas solares pico. El cual refleja el impacto positivo al aprovechamiento del recurso solar en el lugar del emplazamiento.

Los resultados obtenidos confirman la viabilidad técnica del sistema de generación de energía híbrida mediante el modelamiento en los softwares del Helioscope y Homer Pro, el cual está conformado por 2 sistemas de generación (Fotovoltaica y Grupo Electrónico) y un sistema de almacenamiento de energía (BESS). El sistema fotovoltaico tiene una potencia pico de 232.2 kWp y potencia nominal de 200 kWn el cual aporta un 29.2 % de la energía total, mientras que el grupo electrónico RVS228-C tiene una potencia de 228 kW (Stand By) y 208 kW (Prime) contribuyendo un 70.8 % de la energía total, finalmente el sistema de almacenamiento de energía CO150K-300E tiene una capacidad de almacenamiento de 300 kWh y potencia de descarga de 150kW, el cual este último aprovecha los excedentes generados por el sistema fotovoltaico para posteriormente liberarla en respuestas rápidas ante cambios de la demanda de energía y picos de arranque, garantizando la confiabilidad del suministro eléctrico. A todo ello los gestores energéticos seleccionados tienen un rol importante para la gestión de energía de los sistemas, como ASC 150 Solar para el sistema fotovoltaico, ASC 150 Storage para el BESS y Mk-II para el RVS228-C.

De esta manera los resultados evaluados económicamente se desarrollaron considerando 25 años de operación del sistema. El Software Homer Pro evaluó las métricas económicas de 5 sistemas variando las configuraciones tecnológicas el cual se visualiza en la Tabla 33. Concluyendo que el caso propuesto conformado por el sistema fotovoltaico de 232.3 kWp, el Sistema BESS CO150K-300E y Grupo Electrónico RVS228-C tiene un costo competitivo de

LCOE de \$0.235/kWh a diferencia de las demás configuraciones tecnológicas, permitiendo ahorros a largo tiempo y disminución de los costos operativos del sistema. Además, el ROI del sistema propuesto es el 28%, el TIR el 33% y el tiempo de recuperación o Payback de 3.1 años.

Tabla 33

Resumen de la evaluación económica de los sistemas simulados en el Homer Pro.

Sistema	VAN o NPC (\$)	CAPEX (\$)	OPEX (\$/año)	LCOE (\$/kW)
Sistema FV 232.3 kWp, 200 kWn				
Sistema BESS CO150K-300E	3,793,574.00	321,648.95	235,346.20	0.235
Grupo Electrónico RVS228-C				
Sistema FV 232.3 kWp, 200 kWn				
Grupo Electrónico RVS228-C	3,965,695.00	220,949.10	253,839.60	0.246
Grupo Electrónico RVS228-C				
Sistema BESS CO150K-300E	4,921,875.00	167,897.90	322,250.80	0.305
Grupo Electrónico RVS228-C				
Grupo Electrónico RVS228-C	4,752,056.00	67,198.06	317,565.50	0.294

En conclusión, la evaluación de prefactibilidad del sistema híbrido conformado por un sistema fotovoltaico de 232.3 kWp, un sistema BESS con una potencia de descarga de 150kW y almacenamiento de energía de 300kWh y un grupo electrónico de 228 kW para la agroindustria Terra en Lambayeque demuestra que es una solución factible tanto técnica como económicamente, garantizando su correcto suministro de energía a las cargas de la agroindustria.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda optimizar el horario de funcionamiento de las cargas en el día con la finalidad de aprovechar en mayor proporción el recurso solar, porque las cargas actuales tienen una participación de 29% de día, mientras que de noche tiene un 71%,

Se recomienda realizar evaluaciones de sistemas PV-GENSET con almacenamiento de baterías en sectores donde predominan el uso de grupos electrógenos, en sectores industriales, comerciales, etc. el cual puede repercutir a un análisis más detallado debido a la comunicación entre los sistemas con los gestores energéticos.

Se sugiere realizar la factibilidad del estudio, ya que como se vio en las conclusiones el lugar de emplazamiento cuenta con un buen recurso solar, el cual puede usarse para el aprovechamiento de generación de energía por fuentes renovables.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angélica, R. (19 de Marzo de 2021). *HelioScope, herramienta para sistemas fotovoltaicos*. Obtenido de KeeUI Solar: <https://keeui.com/2021/03/19/helioscope-herramienta-para-sistemas-fotovoltaicos/>
- Aponte, L. (2020). Diseño de una microrred fotovoltaica/diésel con backup de batería de Li-Ion para mejorar el servicio en la ciudad de San Antonio del Estrecho, Loreto, Perú. *Tesis de pregrado*. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12893/8284>
- Asian Development Bank. (14 de Octubre de 2018). *Handbook on Battery Energy Storage System*. Philippines: Asian Development Bank. doi:<http://dx.doi.org/10.22617/TCS189791-2>
- Carta, J., Calero, R., Colmenar, A., & Castro, M.-A. (2009). *Centrales de energías renovables: Generación de eléctrica con energías renovables*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.
- Casa, M., & Mónica, B. (2012). *Instalaciones solares fotovoltaicas* (Primera ed.). Barcelona: MARCOMBO, S.A.
- Castejón, A., & Santamaría, G. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid: Editex.
- Cruz, E. (2010). Diseño y simulación del comportamiento de un sistema híbrido de potencia. *Tesis de pregrado*. Universidad de Piura, Piura. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11042/1448>
- De Máquinas y Herramientas. (23 de Diciembre de 2015). *Generadores o Grupos electrógenos*. Obtenido de De Máquinas y Herramientas: <https://www.demaquinasyherramientas.com/maquinas/generadores-o-grupos-electrogenos>
- Descalzo, J. (2014). Sistema híbrido diésel-fotovoltaico: gestor energético. *Tesis de pregrado*. Universidad Carlos III de Madrid, Madrid. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10016/26418>

- Diouf, B., & Ramchandra, P. (2015). Potential of lithium-ion batteries in renewable energy [Potencial de las baterías de iones de litio en energías renovables]. *Renewable Energy*, 76, 375-380. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.11.058>
- Duarte, E. (2019). Modelo de simulación de un sistema de generación híbrido solar fotovoltaico acoplado a un motor de combustión interna diesel bi-fuel integrando un gasificador de biomasa para zonas no interconectadas. *Tesis de pregrado*. Universidad Autónoma de Bucaramanga, Bucaramanga. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12749/7104>
- Esan. (6 de Noviembre de 2018). *Capex: su importancia para las proyecciones financieras*. Obtenido de Esan: <https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/capex-su-importancia-para-las-proyecciones-financieras>
- EverExceed. (27 de Agosto de 2021). *La diferencia entre la batería AGM & GEL*. Obtenido de EverExceed: https://es.everexceed.com/blog/the-difference-between-agm-gel-battery_b99
- Gonzalo, G. (18 de Diciembre de 2020). *Ya hay baterías por menos de 100 dólares/kWh: para BloombergNEF, “un hito histórico”*. Obtenido de Híbridos y Eléctricos: https://www.hibridosyelectricos.com/coches/baterias-menos-100-dolares-kwh-bloombergnef-hito-historico_40920_102.html
- Guerra, R. (2021). Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico autónomo para la embarcación de descarga de anchoveta Chata DC-3. *Tesis de pregrado*. Universidad de Piura, Piura. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11042/5362>
- Huaman, J. (2022). Análisis de Sistemas Mixtos de Generación Para Reducir el Alto Consumo de Energía Eléctrica en el Instituto Regional de Mármol de Junín, 2021. *Tesis de pregrado*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12894/8252>
- IRENA. (2021). *Renewable Power Generation Costs in 2020*. Abu Dhabi.
- Jarabo, F., Perez, C., Elortegui, N., Fernandez, J., & Macias, J. (1998). *El libro de las Energías Renovables* (Primera ed.). Madrid, 74: Artes Gráficas Gala, S.L.
- Jiménez, M. (9 de Enero de 2023). *Mercado de productos refinados de América Latina 2023 nublado por posibles suministros rusos*. Obtenido de S%P Global Commodity Insights:

<https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/oil/010923-latin-america-2023-refined-products-market-cloudy-on-possible-russian-supplies>

- Lopez, L. A. (2012). *PV Hybrid Mini-Grids: Applicable Control Methods for Various Situations*. International Energy Agency (IEA). Report IEA-PVPS T11-07:2012. Obtenido de https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/rep11_07.pdf
- Lozada, J. (2014). Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria. *CienciAmérica*, 47-50. doi:<http://201.159.222.118/openjournal/index.php/uti/article/view/30>
- Mascarós, V. (2016). *Gestión del montaje de instalaciones solares fotovoltaicas* (Primera ed.). Madrid: Paraninfo, SA .
- Montoya, G. (2019). Dimensionamiento y selección de un sistema fotovoltaico con el software Homer como alternativa para generar energía eléctrica en el caserío Nuevo Retiro en Cumba – Utcubamba Amazonas. *Tesis de pregrado*. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12893/7898>
- Muños, A. (19 de Diciembre de 2022). *Costes operativos en una instalación de autoconsumo*. Obtenido de EDP energía: <https://www.edpenergia.es/es/blog/electricidad-y-gas-para-empresas/costes-operativos-instalacion-de-autoconsumo/>
- Novum Solar. (28 de Marzo de 2022). *Aplicaciones y Beneficios de los Sistemas BESS*. Obtenido de Novum Solar: <https://novumsolar.com/aplicaciones-y-beneficios-de-los-sistemas-bess/>
- OSINERGMIN. (2019). *Energías renovables: experiencia y perspectivas en la ruta del Perú* (Primera ed.). Lima: GRÁFICA BIBLOS S.A.
- Pareja, M. (2016). *Energía solar fotovoltaica: Cálculo de una instalación aislada* (Tercera ed.). Barcelona: MARCOMBO, S.A.
- Peña, R., Santos, A., & Trujillo, L. (2020). Análisis para la selección de sistemas de almacenamiento basados en baterías para microrredes eléctricas. *Ingeniería*. 25., 284-304. doi:10.14483/23448393.15613

- Ragheb, M. (2017). Economics of Wind Power Generation. *Wind Energy Engineering*, 537-555. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809451-8.00025-4>
- Reyes, A., & Osorio, E. (17 de Diciembre de 2018). Implementación de un sistema híbrido solar fotovoltaico - diésel en la municipalidad de Puerto Lempira, Gracias a Dios, Honduras. *Innovare: Revista De Ciencia Y tecnología*, págs. 14-30. doi:<https://doi.org/10.5377/innovare.v7i2.8080>
- Sánchez, M., & Timoteo, M. (2022). Estudio del sistema energético óptimo para abastecer de energía eléctrica al caserío Lloque - Cajamarca. *Tesis de pregrado*. Universidad Nacional del Santa, Chimbote. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14278/4053>
- Schallenberg, J., Piernavieja, G., Hernández, C., Unamunzaga, P., García, R., Díaz, m., . . . Subiela, V. (2008). *Energías renovables y eficiencia energética* (Primera ed.). Canarias: Instituto Tecnológico de Canarias, S.A.
- SEFORALL. (03 de Junio de 2022). *Chilling Prospects 2022: Promoting sustainable agricultural food chains through the Energy Smart Food programme*. Obtenido de SEFORALL: <https://www.seforall.org/data-stories/promoting-sustainable-agricultural-food-chains>
- Surco, E. (2024). Evaluación de prefactibilidad de un sistema híbrido (solar, baterías y diésel) para el suministro de energía eléctrica a la Agroindustria Terra en el departamento de Lambayeque. *Tesis de Pregrado*. Universidad Nacional de Juliaca, Juliaca.
- Tamayo, J., Salvador, J., Vásquez, A., & Vilchez, C. (2016). *La industria de la electricidad en el Perú: 25 años de aportes al crecimiento económico del país*. Lima: GRÁFICA BIBLOS S.A.
- Undurraga, T. (2019). Implementación y evaluación de un sistema híbrido (Solar - Diésel). *Tesis de grado*. Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona. Obtenido de <http://hdl.handle.net/2117/173251>
- Valdiviezo, D. (2014). Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP. *Tesis de pregrado*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/5447>

ANEXOS

Anexo 1. Procesamiento de datos del GHI promedio mensual de las 3 bases de datos.

Mes	Día	GHI PVGIS diaria promedio (W/m²/día)	GHI Meteonorm diaria promedio (W/m²/día)	GHI NASA SEE diaria promedio (W/m²/día)
1	1	372.33	565.38	484.31
1	2	324.67	573.15	548.09
1	3	593.42	576.38	535.75
1	4	487.92	568.69	509.57
1	5	547.67	567.92	541.03
1	6	530.67	504.23	520.56
1	7	481.00	571.77	514.56
1	8	397.58	521.54	520.53
1	9	480.08	557.92	520.83
1	10	541.67	551.62	522.36
1	11	408.42	583.23	535.07
1	12	539.67	553.85	524.50
1	13	624.33	558.85	534.11
1	14	625.42	578.15	576.48
1	15	609.00	534.38	568.84
1	16	430.33	406.00	552.09
1	17	550.92	515.62	536.71
1	18	245.83	447.77	526.61
1	19	626.42	402.00	555.91
1	20	627.25	520.00	441.10
1	21	627.58	534.08	507.38
1	22	467.58	540.85	375.56
1	23	431.00	563.15	507.54
1	24	629.67	571.38	414.37
1	25	557.75	582.77	566.40
1	26	631.25	608.00	521.73
1	27	631.75	632.67	541.47
1	28	493.83	606.17	564.58
1	29	617.67	565.25	501.21
1	30	571.33	616.08	542.40
1	31	470.75	586.67	312.92
2	1	645.25	587.15	433.73
2	2	652.92	589.69	512.97
2	3	641.17	481.31	518.19
2	4	358.50	532.31	551.47
2	5	645.42	593.08	535.92

Anexo 1*Continuación*

2	6	641.58	365.00	464.25
2	7	542.33	465.62	469.29
2	8	574.67	479.77	492.75
2	9	634.00	549.00	522.46
2	10	641.00	494.69	558.12
2	11	507.67	573.00	543.00
2	12	582.75	483.23	519.72
2	13	490.92	556.31	344.78
2	14	624.08	570.23	464.92
2	15	527.42	427.69	423.13
2	16	572.42	438.31	501.42
2	17	391.50	484.00	480.02
2	18	463.17	487.00	507.79
2	19	395.00	577.54	532.19
2	20	414.67	595.92	529.68
2	21	507.00	584.77	550.47
2	22	592.42	590.54	543.74
2	23	470.83	563.69	509.22
2	24	595.25	563.15	364.68
2	25	509.42	555.46	356.59
2	26	610.75	544.46	376.71
2	27	509.50	557.77	496.70
2	28	629.50	544.00	527.63
3	1	632.58	628.83	532.88
3	2	630.75	603.33	531.18
3	3	622.33	549.58	489.06
3	4	523.75	554.58	378.56
3	5	503.17	434.67	530.50
3	6	466.92	626.42	504.28
3	7	480.58	627.33	524.79
3	8	590.58	636.00	524.77
3	9	625.92	654.45	492.21
3	10	547.25	681.36	498.07
3	11	626.17	646.73	483.88
3	12	626.00	501.09	534.31
3	13	599.17	675.18	473.77
3	14	625.17	686.36	497.12
3	15	613.25	640.91	405.64
3	16	603.08	679.55	453.76
3	17	549.08	652.00	506.87

Anexo 1

Continuación

3	18	612.00	593.18	479.63
3	19	398.42	642.91	402.06
3	20	619.17	597.09	421.95
3	21	612.08	511.27	489.55
3	22	616.42	669.91	462.35
3	23	614.58	603.18	389.44
3	24	592.83	528.09	510.25
3	25	613.58	667.18	538.06
3	26	610.33	581.55	539.77
3	27	602.83	551.45	535.51
3	28	509.00	645.36	456.94
3	29	604.50	618.18	393.89
3	30	603.83	547.27	494.51
3	31	602.58	662.09	504.21
4	1	593.25	570.91	444.80
4	2	594.42	658.09	475.42
4	3	595.08	575.18	514.39
4	4	431.08	595.45	489.83
4	5	528.08	472.36	495.98
4	6	587.83	609.82	509.95
4	7	513.08	637.91	501.66
4	8	584.83	650.73	516.02
4	9	578.75	648.55	512.94
4	10	582.58	644.27	460.79
4	11	570.17	643.27	462.08
4	12	605.00	651.18	463.07
4	13	629.36	651.55	500.27
4	14	624.09	650.91	461.62
4	15	626.73	614.73	404.14
4	16	480.09	623.64	487.51
4	17	427.82	499.91	521.39
4	18	613.45	612.45	505.73
4	19	609.45	593.45	538.10
4	20	611.18	556.17	515.86
4	21	582.45	568.08	479.67
4	22	608.91	566.92	523.97
4	23	600.27	562.75	535.58
4	24	591.27	558.17	529.75
4	25	599.27	555.17	517.00
4	26	577.64	509.67	518.87

Anexo 1*Continuación*

4	27	521.64	287.58	477.42
4	28	592.82	499.67	507.29
4	29	590.91	544.83	453.12
4	30	589.73	383.42	467.19
5	1	596.36	548.00	475.49
5	2	593.18	544.92	476.07
5	3	594.09	537.67	534.32
5	4	593.18	551.67	435.83
5	5	589.36	593.00	489.71
5	6	586.36	598.00	484.34
5	7	484.73	514.36	498.52
5	8	586.73	591.73	487.25
5	9	574.09	581.91	438.24
5	10	563.55	562.18	468.25
5	11	556.45	539.36	447.58
5	12	465.55	467.00	469.10
5	13	529.55	524.55	453.79
5	14	405.09	432.55	462.40
5	15	571.91	587.91	334.91
5	16	479.55	505.27	385.62
5	17	398.18	371.27	441.98
5	18	366.09	383.00	470.79
5	19	472.73	437.64	422.90
5	20	352.36	381.27	422.92
5	21	386.55	366.00	393.90
5	22	514.73	577.00	380.95
5	23	472.18	486.00	418.18
5	24	523.55	523.27	332.85
5	25	554.73	561.82	352.25
5	26	554.55	554.82	348.25
5	27	458.27	464.09	375.47
5	28	284.36	294.82	287.78
5	29	445.82	520.36	412.49
5	30	439.64	472.00	281.60
5	31	434.45	420.36	363.95
6	1	546.00	476.17	352.15
6	2	546.00	445.00	337.99
6	3	483.82	503.92	317.62
6	4	542.18	499.75	237.15
6	5	544.00	474.08	381.75

Anexo 1

Continuación

6	6	445.36	469.25	351.15
6	7	541.09	494.17	441.52
6	8	541.27	435.08	212.46
6	9	305.36	468.25	279.76
6	10	506.55	509.58	440.98
6	11	378.64	509.25	414.25
6	12	537.27	501.67	437.33
6	13	495.27	494.50	382.59
6	14	535.64	489.83	444.15
6	15	535.82	495.33	424.92
6	16	535.55	435.67	250.95
6	17	533.45	492.67	383.98
6	18	414.82	483.50	346.16
6	19	354.00	493.75	465.83
6	20	479.36	393.25	266.92
6	21	514.18	476.83	301.15
6	22	532.82	480.25	299.47
6	23	452.18	489.58	315.90
6	24	509.27	387.50	365.79
6	25	532.09	433.42	303.57
6	26	533.27	376.33	429.66
6	27	536.09	453.58	385.09
6	28	532.18	439.33	444.74
6	29	440.18	491.83	389.35
6	30	534.27	412.25	455.03
7	1	538.45	283.73	399.95
7	2	378.91	422.09	369.60
7	3	539.18	435.82	468.11
7	4	334.45	543.00	417.14
7	5	535.55	419.91	260.17
7	6	544.18	496.82	432.70
7	7	310.73	367.27	282.09
7	8	528.55	301.36	357.00
7	9	506.27	467.64	388.78
7	10	435.36	555.18	279.11
7	11	500.00	565.73	354.67
7	12	543.00	438.55	423.92
7	13	512.64	504.36	345.64
7	14	508.55	477.36	391.59
7	15	460.64	335.45	326.63

Anexo 1

Continuación

7	16	454.45	396.27	361.46
7	17	373.82	507.64	407.26
7	18	527.18	531.45	322.74
7	19	383.36	556.18	302.26
7	20	519.09	550.73	431.45
7	21	443.18	515.36	360.77
7	22	562.55	567.18	349.19
7	23	514.67	279.64	419.14
7	24	391.25	432.09	382.95
7	25	430.75	503.45	203.28
7	26	510.17	575.82	292.78
7	27	455.42	577.36	328.14
7	28	454.58	384.27	282.08
7	29	497.00	310.73	342.26
7	30	377.00	390.55	289.00
7	31	384.92	446.27	431.69
8	1	423.50	460.91	317.43
8	2	406.00	531.09	273.22
8	3	344.25	526.09	298.44
8	4	517.50	488.45	388.59
8	5	409.33	425.91	405.26
8	6	264.17	448.73	294.01
8	7	460.25	494.73	267.63
8	8	528.25	538.27	228.20
8	9	501.00	493.55	292.04
8	10	370.67	574.73	260.45
8	11	422.75	408.27	435.65
8	12	527.75	523.09	302.97
8	13	528.58	479.55	289.12
8	14	511.50	458.82	352.72
8	15	324.50	571.91	407.19
8	16	374.50	412.00	317.39
8	17	476.75	353.73	369.82
8	18	481.75	380.00	414.96
8	19	495.83	548.64	374.55
8	20	466.00	481.27	250.32
8	21	477.25	592.00	297.48
8	22	434.17	624.55	471.66
8	23	500.75	398.91	299.71
8	24	505.25	390.27	413.29

Anexo 1

Continuación

8	25	528.08	602.36	230.76
8	26	472.18	616.73	280.05
8	27	533.73	395.82	323.21
8	28	568.64	546.55	327.91
8	29	527.73	599.27	277.43
8	30	491.27	451.18	280.13
8	31	600.36	454.36	267.69
9	1	602.64	307.33	469.60
9	2	439.82	442.75	493.27
9	3	484.36	565.75	496.30
9	4	603.82	572.08	251.78
9	5	504.64	520.33	315.94
9	6	519.64	531.92	421.13
9	7	483.73	477.58	432.45
9	8	489.36	481.67	426.93
9	9	623.82	520.17	328.56
9	10	609.64	474.17	347.43
9	11	437.09	426.50	408.29
9	12	544.09	582.42	515.80
9	13	535.64	570.08	392.09
9	14	561.18	521.42	308.44
9	15	586.45	567.33	365.54
9	16	623.91	534.50	471.35
9	17	624.64	546.67	581.61
9	18	318.00	545.33	484.49
9	19	241.82	534.33	385.10
9	20	550.82	507.67	464.57
9	21	632.45	542.08	511.10
9	22	636.45	562.08	468.11
9	23	624.00	416.42	419.33
9	24	636.18	513.17	435.67
9	25	484.55	494.50	371.78
9	26	449.64	567.58	390.81
9	27	553.45	588.08	436.81
9	28	557.00	606.75	531.75
9	29	546.73	607.08	503.95
9	30	630.64	474.83	477.12
10	1	610.18	588.42	420.88
10	2	651.73	543.25	414.65
10	3	620.45	602.42	558.08

Anexo 1

Continuación

10	4	579.27	485.00	491.51
10	5	653.45	597.08	442.91
10	6	630.73	515.92	558.38
10	7	608.09	613.75	440.84
10	8	666.36	622.50	479.23
10	9	568.09	608.33	524.14
10	10	549.64	482.75	417.24
10	11	669.82	573.67	383.02
10	12	636.55	556.75	458.62
10	13	633.55	472.58	520.27
10	14	601.27	534.58	433.79
10	15	598.09	641.50	421.58
10	16	605.36	512.25	507.91
10	17	552.00	435.33	415.50
10	18	398.64	444.50	434.84
10	19	474.55	567.33	465.06
10	20	426.36	509.83	312.23
10	21	651.36	572.08	537.15
10	22	627.91	576.75	387.08
10	23	633.00	617.33	507.24
10	24	479.27	624.50	516.26
10	25	384.91	478.00	457.67
10	26	617.45	445.25	444.85
10	27	498.55	465.00	482.50
10	28	673.18	281.25	593.37
10	29	551.82	280.00	473.07
10	30	617.82	520.75	534.12
10	31	569.18	579.75	415.86
11	1	515.45	376.33	347.67
11	2	648.82	582.08	385.29
11	3	687.55	564.50	560.83
11	4	627.27	397.00	437.08
11	5	563.00	453.83	302.46
11	6	693.00	418.58	557.77
11	7	606.55	512.00	504.63
11	8	612.27	601.33	505.14
11	9	523.73	499.83	399.51
11	10	604.82	540.33	534.13
11	11	583.36	592.67	539.54
11	12	446.73	577.92	505.31

Anexo 1

Continuación

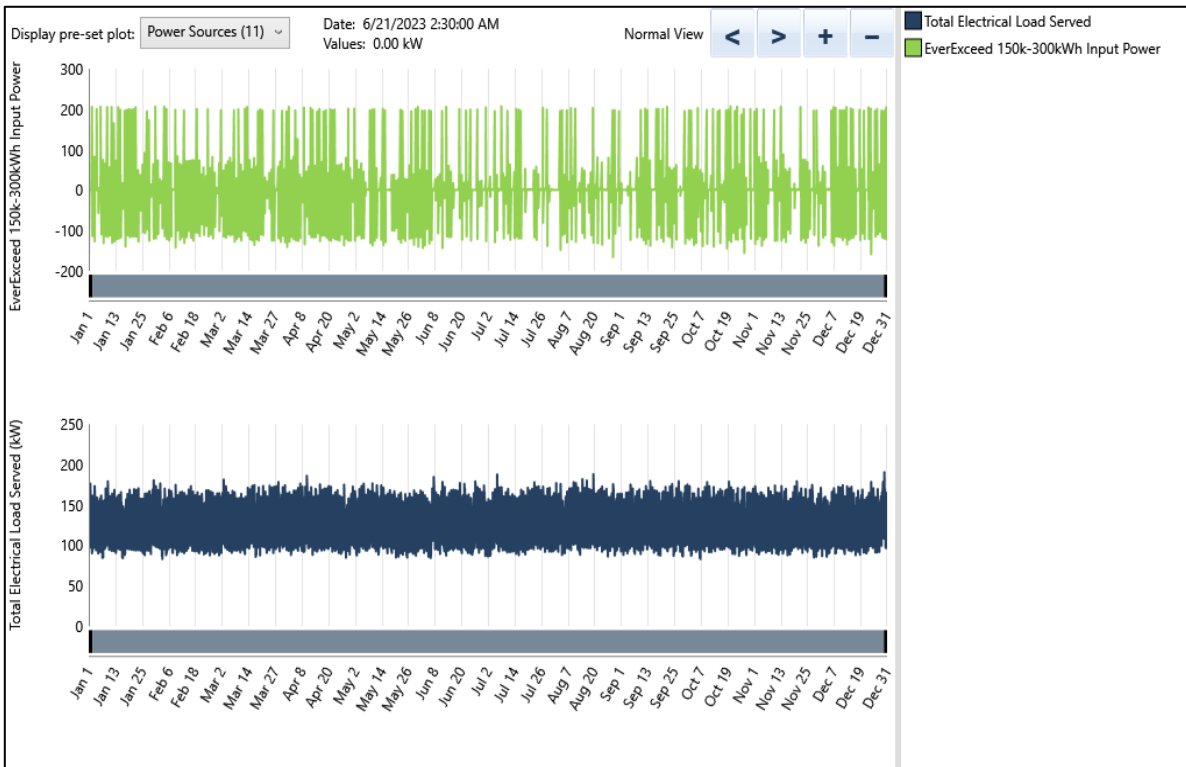
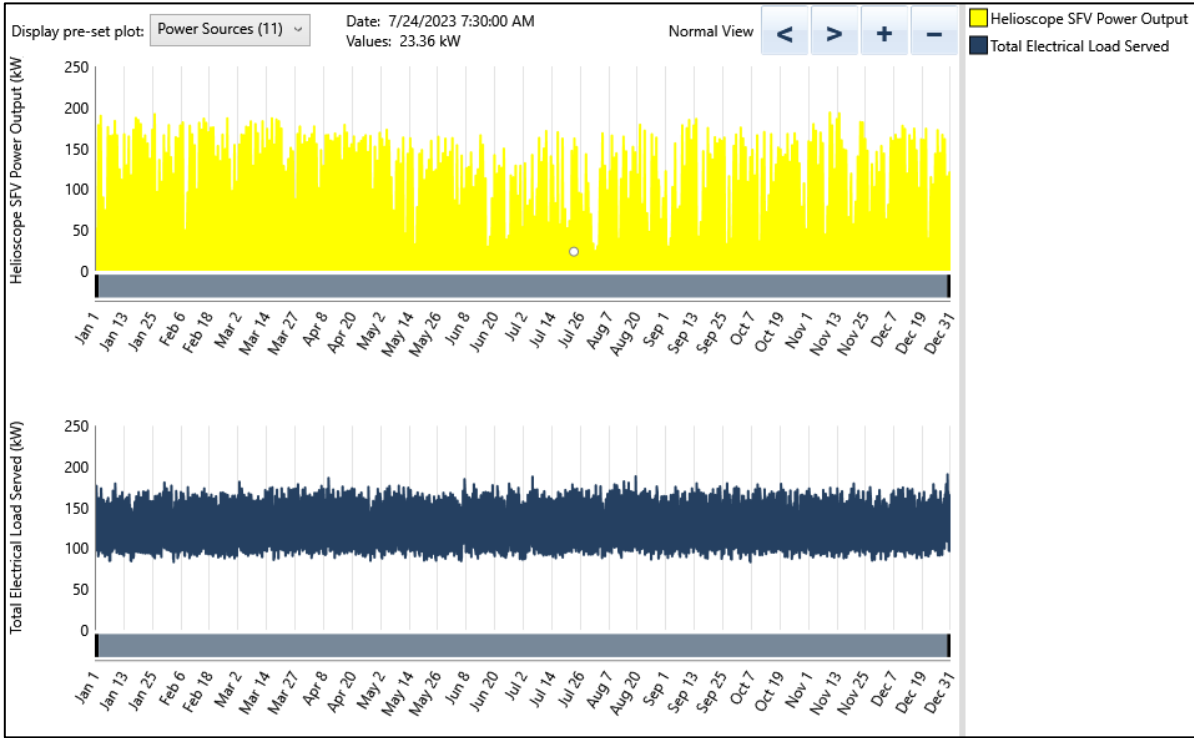
11	13	652.09	597.25	560.14
11	14	634.82	592.75	387.97
11	15	563.73	603.17	553.10
11	16	525.09	409.17	447.81
11	17	572.91	529.83	301.47
11	18	681.45	530.08	394.59
11	19	501.55	614.58	479.46
11	20	682.64	537.83	592.40
11	21	672.00	485.67	334.57
11	22	597.09	658.25	298.11
11	23	666.55	626.08	392.47
11	24	477.09	427.67	443.13
11	25	580.18	570.08	459.93
11	26	686.55	611.42	472.38
11	27	682.00	638.92	403.73
11	28	546.00	613.67	475.25
11	29	611.33	540.92	493.86
11	30	582.25	610.67	335.87
12	1	585.83	580.33	374.73
12	2	514.25	566.17	456.75
12	3	516.25	601.92	455.67
12	4	562.92	589.75	343.43
12	5	594.42	597.25	545.59
12	6	566.92	505.50	318.43
12	7	618.83	434.75	279.63
12	8	388.00	552.17	540.64
12	9	578.83	544.67	521.99
12	10	583.75	528.67	474.43
12	11	420.67	631.67	335.74
12	12	506.75	556.25	324.14
12	13	541.50	567.58	255.17
12	14	500.50	617.58	512.23
12	15	512.42	597.67	482.81
12	16	615.50	486.75	500.82
12	17	621.33	630.33	322.14
12	18	617.67	589.50	455.14
12	19	619.58	353.00	512.10
12	20	620.42	621.92	529.69
12	21	613.42	628.92	453.37
12	22	601.00	593.58	369.88

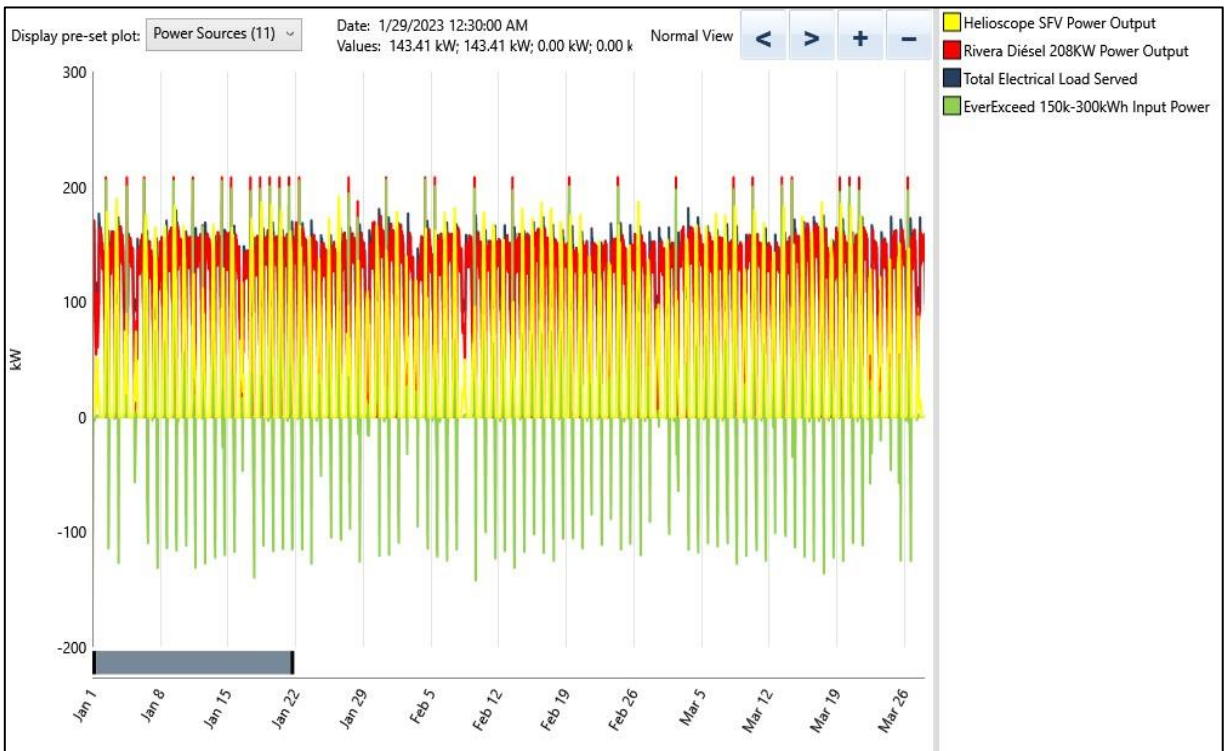
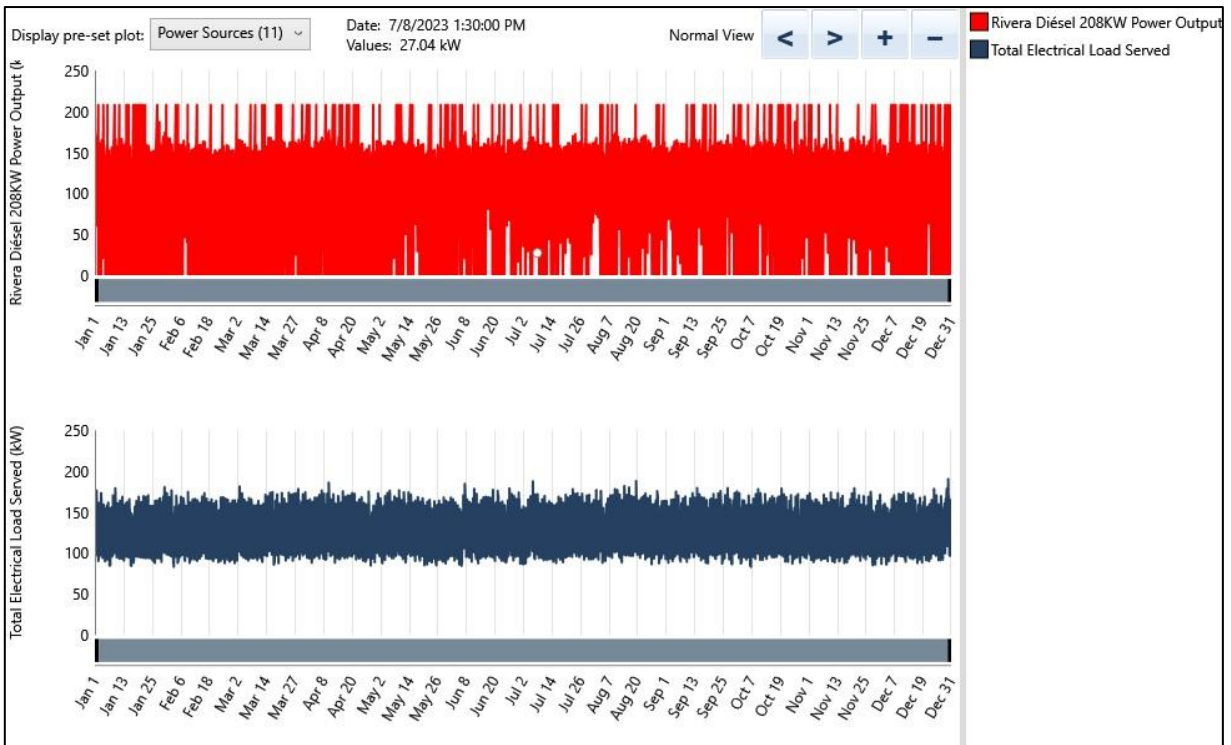
CAPÍTULO I Anexo 1

Continuación

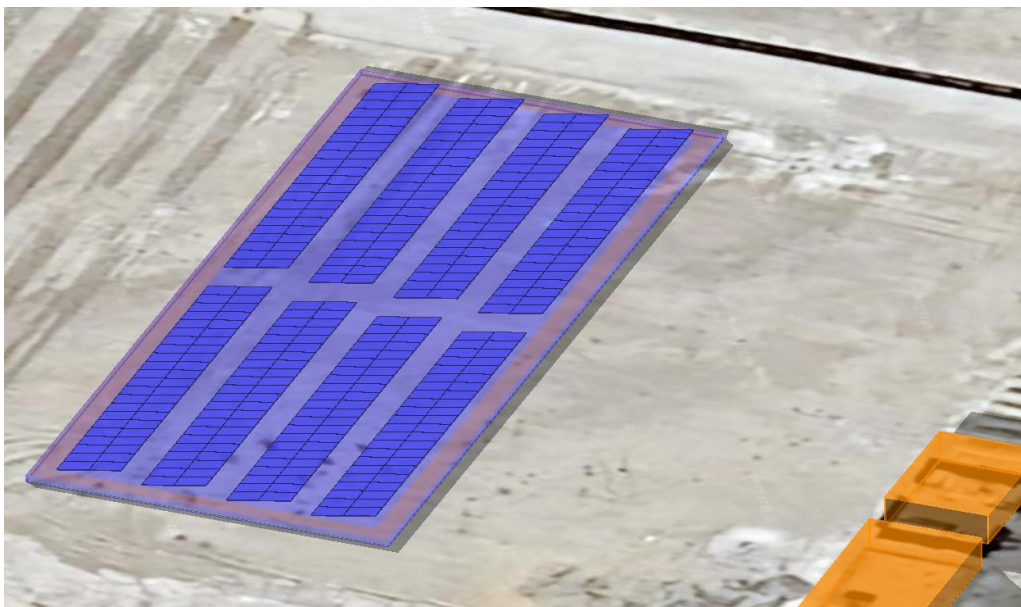
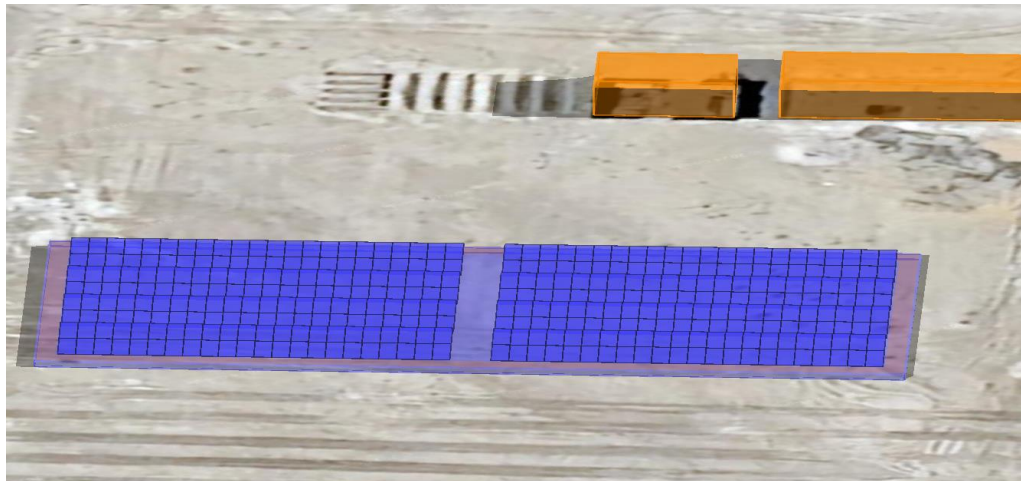
12	23	615.50	633.58	538.50
12	24	573.00	608.08	511.45
12	25	586.42	631.08	480.32
12	26	489.83	601.83	468.85
12	27	617.33	609.75	427.00
12	28	581.50	298.15	469.80
12	29	580.42	490.85	498.77
12	30	620.17	558.62	304.60
12	31	620.58	577.23	291.84

Anexo 2. Simulación del comportamiento del sistema híbrido en el Homer Pro.






Anexo 3. Simulación del sistema fotovoltaico en el software Helioscope.



Anexo 4. Cotización de los módulos fotovoltaicos, inversor y accesorios.

 CARAL ENERGÍA Renovables y Sostenibles		Oferta de Venta				
Caral Soluciones Energeticas S.A.C. RUC: 20603087675 Calle Coronel Inclán 235 Oficina 205 Miraflores www.caralenergia.com		N° CO23-1206-SR-01-A Fecha: 6/12/2023 Raquel Ramirez P. Celular: 947963944 raquel.ramirez@caralenergia.com				
Cliete: Edson Surco RUC Juliaca		Atención: Edson Surco Ing. De Proyectos Celular Email				
Referencia: Equipos para Sistemas Fotovoltaicos On Grid						
Ítem	Referencia	Descripción	Cantidad	Unidad	Valor unitario	Sub total
Equipamiento Solar 3.6Kw				Sistema		
01	TSM-DE21 660Wp	Panel Solar TRINA, 660Wp TSM-DE21- 660 Monocristalino Half Cell	352	Und	\$ 177.49	\$ 62,475.49
02	S5-GC100K-HV	Inversor Trifasico S5-GC100K-HV	2	Und	\$ 5,783.40	\$ 11,566.80
03	EPM3-5G-Plus	Solis Export Power Manager EPM3-5G Plus	1	Und	\$ 712.80	\$ 712.80
04	S2-WL-ST	Plugin Stick compatible with entire range S3-WL-ST	2	Und	\$ 64.80	\$ 129.60
05	DC2P25	Interruptor FEEO DC 2P 25A 500Vdc	18	Und	\$ 19.44	\$ 349.92
					Valor de Venta	\$ 75,234.61
					I.G.V. (18%)	\$ 13,542.23
					Precio de Venta	\$ 88,776.84
Son:						
Moneda: Dólares						
Tiempo de Entrega: 01 día						
Lugar de Entrega: Almacen de Caral						
Forma de Pago: Adelanto 30% y saldo 15 días						
Garantía: 01 año contra defectos de fábrica						
Validez de la Oferta: 03 días						
Información Bancaria:						
Interbank	Cuenta en soles N° 043-3001411885	BCP	Cuenta en Soles N° 194-2616879-0-19			
Interbank	Cuenta en dólares N° 290-3001446143	BCP	Cuenta en Dólares N° 194-2599131-1-57			

Anexo 5. Cotización del gestor energético DEIF.

<h3 style="margin: 0;">Quotation</h3> <p>EDSON SURCO Peru</p> <p>Date: January 10, 2024</p> <p>Quotation No. QUO-14317-T7C1T5-0 Reference: Of/grid PV/Gen/BESS</p> <p>Dear Edson Surco</p> <p>Thank you for your inquiry. We are pleased to quote you as follows:</p>	 <p>Improve Tomorrow</p> <p>DEIF A/S Frisenborgvej 33 DK-7800 Skive</p> <p>Tel.: +45 9614 9614</p> <p>E-mail: info@deif.com CVR No. 1579 8416 www.deif.com</p>																																			
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Item</th> <th style="text-align: left;">Qty</th> <th style="text-align: left;">Description</th> <th style="text-align: right;">Unit price</th> <th style="text-align: right;">Total price</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10</td> <td>1</td> <td>2912420650 ASC 150</td> <td style="text-align: right;">2.950,00</td> <td style="text-align: right;">2.950,00</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="padding-left: 40px;"> Variant no. : 2912420650.02 Product : ASC 150 Type : STORAGE Unit Software : PREMIUM Software Package </td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>1</td> <td>2912420650 ASC 150</td> <td style="text-align: right;">2.950,00</td> <td style="text-align: right;">2.950,00</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="padding-left: 40px;"> Variant no. : 2912420650.04 Product : ASC 150 Type : SOLAR Unit Software : PREMIUM Software Package </td> </tr> <tr> <td>30</td> <td>1</td> <td>2914410040 AGC-4 Mk II</td> <td style="text-align: right;">4.559,06</td> <td style="text-align: right;">4.559,06</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="padding-left: 40px;"> Variant no. : 2914410040.01 Product : AGC-4 Mk II Application : DG Controller Software : 4103230507 6.05.5 (UL approved) Display : Standard Display DU-2 Frontfoil : 1154500022 Front folio AGC Island DEIF UK Standard Options : A1: Voltage/Frequency/Vector/Df-Dt A4: Positive sequence A5: Directional overcurrent C2: Negative sequence current/voltage D1: Volt/var/cos phi select I1: Emulation N: Ethernet TCP/IP Q1: Verified class 0.5 T2: DEIF digital AVR communication </td> </tr> </tbody> </table>		Item	Qty	Description	Unit price	Total price	10	1	2912420650 ASC 150	2.950,00	2.950,00	Variant no. : 2912420650.02 Product : ASC 150 Type : STORAGE Unit Software : PREMIUM Software Package					20	1	2912420650 ASC 150	2.950,00	2.950,00	Variant no. : 2912420650.04 Product : ASC 150 Type : SOLAR Unit Software : PREMIUM Software Package					30	1	2914410040 AGC-4 Mk II	4.559,06	4.559,06	Variant no. : 2914410040.01 Product : AGC-4 Mk II Application : DG Controller Software : 4103230507 6.05.5 (UL approved) Display : Standard Display DU-2 Frontfoil : 1154500022 Front folio AGC Island DEIF UK Standard Options : A1: Voltage/Frequency/Vector/Df-Dt A4: Positive sequence A5: Directional overcurrent C2: Negative sequence current/voltage D1: Volt/var/cos phi select I1: Emulation N: Ethernet TCP/IP Q1: Verified class 0.5 T2: DEIF digital AVR communication				
Item	Qty	Description	Unit price	Total price																																
10	1	2912420650 ASC 150	2.950,00	2.950,00																																
Variant no. : 2912420650.02 Product : ASC 150 Type : STORAGE Unit Software : PREMIUM Software Package																																				
20	1	2912420650 ASC 150	2.950,00	2.950,00																																
Variant no. : 2912420650.04 Product : ASC 150 Type : SOLAR Unit Software : PREMIUM Software Package																																				
30	1	2914410040 AGC-4 Mk II	4.559,06	4.559,06																																
Variant no. : 2914410040.01 Product : AGC-4 Mk II Application : DG Controller Software : 4103230507 6.05.5 (UL approved) Display : Standard Display DU-2 Frontfoil : 1154500022 Front folio AGC Island DEIF UK Standard Options : A1: Voltage/Frequency/Vector/Df-Dt A4: Positive sequence A5: Directional overcurrent C2: Negative sequence current/voltage D1: Volt/var/cos phi select I1: Emulation N: Ethernet TCP/IP Q1: Verified class 0.5 T2: DEIF digital AVR communication																																				
<p>QUO-14317-T7C1T5-0 Side 1/3</p>																																				

Anexo 6. Cotización de estructuras y BESS.

XIAMEN HOPERGY PHOTOVOLTAIC TECHNOLOGY CO., LTD.

No.630, Tonghong Rd,Xinmin Town, Tongan district, Xiamen City, China
 Fax:+86-592-5638096 Email: luna@hopergy.com Mobile: +8615260174174 Contact: Luna Su

Quotation

Project No.: HP2308074

Panel of spec.(mm): 2384*1303*33

Power/PANEL: 660 W

Panels: 1754 pcs

Total output: 1,157,640 W

Date **2023/8/8**

Validity Date **2023/8/15**

Item No.	Description	Materials	total qty	FOB XIAMEN PRICE	
				Unit Price/SET	Amount (USD)
1	HP2308074 Ground mount system 2*10 (see drawing HP2308074)	ZM/AL6005-T5/Q235	8	US\$357.60	US\$1,072.80
2	HP2308074 Ground mount system 2*11 (see drawing HP2308074)	ZM/AL6005-T5/Q235	8	US\$591.60	US\$7,732.80
3	HP2308074 Ground mount system 2*22 (see drawing HP2308074)	ZM/AL6005-T5/Q235	8	US\$1,086.56	US\$8,692.48


FOB XIAMEN PRICE in total: US\$17,498.08

Freight to Callao 1x40HQ : US\$2,732.72

CIF Callao Price: US\$20,230.80

EverExceed Industrial Co., Ltd

Floor 19, Kechuang Building, Hengchangrong High-tech Industrial Park,Dezheng Road,
 Shiyao,Bao'an District, Shenzhen, 518108, China
 TEL: +86-755-2163-8065 FAX: +86-755-2163-8069 http://www.everexceed.com



18/01/2024

EVA231227 Quotation for Commercial Energy Storage System


No.	Product	Model	Specifications	QTY	Unit	Unit Price(FOB SHENZHEN)	Total Price(FOB SHENZHEN)
1	Energy storage converter	MEGA0150TS	150KW 440VAC 60Hz	1	pcs	\$16,014.00	\$16,014.00
2	Lithium Battery pack	ES563-280	563.2V 280Ah LiFePO4 Battery pack, Each battery module contains one 40g aerosol fire extinguishing module with battery rack	2	pcs	\$19,080.75	\$38,161.50
3	Battery cable	BVR 50mm2		20	m	\$10.00	\$200.00
Total cost (USD)							\$54,375.50

Above price is not including Dangerous goods packaging,the Dangerous goods packaging will be USD1850,will be paid by the buyer.
 Note: If single shipment less than USD60000(FOB),there will collect extra charge 30% to cover the local cost.

Anexo 7. Cotización del grupo electrógeno.

RD	RIVERA DIESEL	COTIZACIÓN DE EQUIPOS - CHICLAYO	CHICLAYO - PIURA, 16 de Enero del 2024 Cotización N°: 014-0001018			
Cliente: EDSON SURCO		Contacto: Edson Correo: edson.surco20@gmail.com Celular: 935 356 465 Condiciones: CONTADO Validez de Oferta: 30/01/2024 Proyecto:				
Dirección:						
Estimado Señores: <i>En atención a su solicitud, sirvase encontrar en la presente nuestra propuesta requerido. Quedamos en la espera de su amable respuesta confirmándonos su aceptación.</i>						
ITEM	CÓDIGO / MODELO	DESCRIPCIÓN	MARCA	CANT	V.V. UNIT	V.VENTA NETO
1	RVS228B-C	GRUPO ELECTROGENO ENCAPSULADO DE 208 KW PRIME <i>INCLUYE: COMAP AMF25, CARGADOR DE BATERIAS, CALENTADOR DE BLOCK, VISOR DE NIVEL DE COMBUSTIBLE, SENSOR DE NIVEL DE COMBUSTIBLE, MAIN SWITCH, BATERIAS (12V), ACEITE Y REFRIGERANTE.</i>	RIVERA DIESEL	1	43,576.00	43,576.00
2	RPS176L-C	GRUPO ELECTROGENO CERRADO DE 159 KW PRIME <i>INCLUYE: COMAP AMF25, CARGADOR DE BATERIAS, CALENTADOR DE BLOCK, VISOR DE NIVEL DE COMBUSTIBLE, SENSOR DE NIVEL DE COMBUSTIBLE, MAIN SWITCH, BATERIAS (12V), ACEITE Y REFRIGERANTE.</i>	RIVERA DIESEL	1	29,602.00	29,602.00
Son: OCHENTA Y SEIS MIL TRESCIENTOS CINCUENTA CON 4/100 DÓLARES					SUBTOTAL: US\$	73,178.00
Tiempo de Entrega: 05 DIAS PREVIA OC.					IGV: US\$	13,172.04
					TOTAL: US\$	86,350.04

Anexo 8. Ficha técnica del módulo fotovoltaico Trina Solar de TSM-DE21 660W.



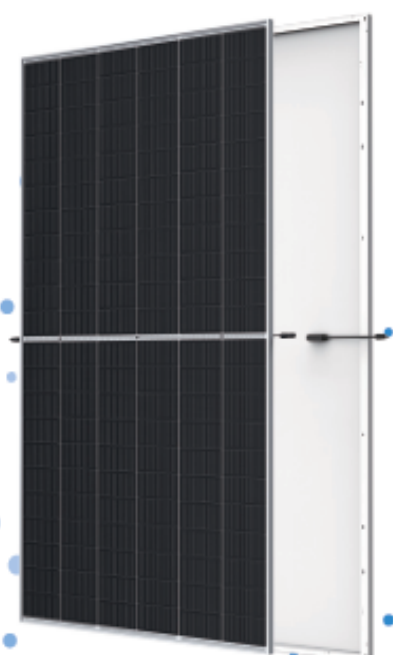
PRODUCTO: TSM-DE21
RANGO DE POTENCIA: 650-670W

MODULO MONOCRISTALINO MONOFACIAL

670W
POTENCIA MÁXIMA

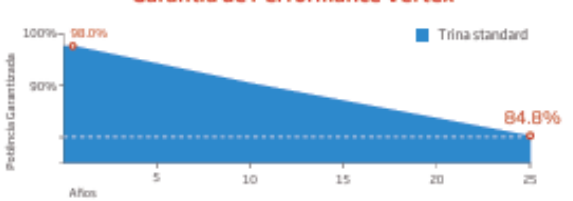
0~+5W
TOLERANCIA POSITIVA

21.6%
EFICIENCIA MÁXIMA



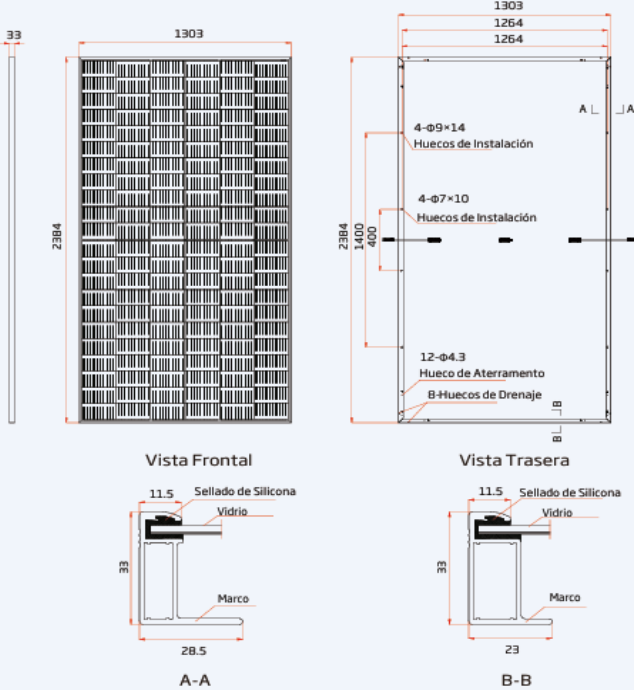
- Alto Valor Añadido**
 - Menor LCOE (costo nivelado de la energía), reducción del costo de BOS (Equilibrio del sistema), menor tiempo de amortización.
 - Baja degradación anual y en el primer año.
 - Diseñado para la compatibilidad con los componentes principales del sistema existentes.
- Hasta 670W de Potencia**
 - Hasta 21,6% de eficiencia del módulo utilizando una tecnología de interconexión de alta densidad.
 - Tecnología multi-busbar para mejor efecto de captura de luz, menor resistencia en serie y mejor rendimiento del módulo.
- Alta Confiabilidad**
 - Microfisuras minimizadas con innovadora tecnología de corte no destructivo.
 - Resistencia a PID asegurada por el control de materiales y del proceso de fabricación.
 - Resistencia en ambientes hostiles como sal, amoníaco, arena, altas temperaturas y humedad.
 - Rendimiento mecánico hasta 5400 Pa de carga positiva y 2400 Pa de carga negativa.
- Alto Rendimiento**
 - Excelente IAM (modificador de ángulo de incidencia) y optima performance en baja irradiación, asegurado por certificadores internacionales.
 - Diseño exclusivo que garantiza una producción optimizada de la energía mismo sobre condiciones de sombra.
 - Bajo coeficiente de temperatura (-0,34%) y baja temperatura de operación

Garantía de Performance Vertex

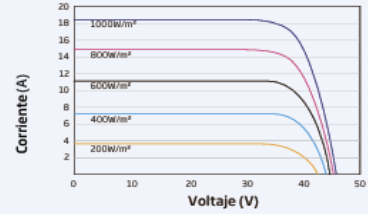


Años	Potencia Garantizada (%)
0	98.0%
25	84.8%

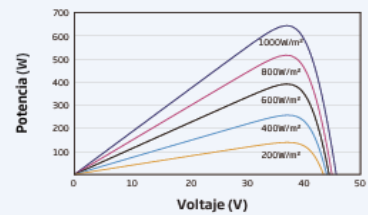
DIMENSIONS OF PV MODULE(mm)



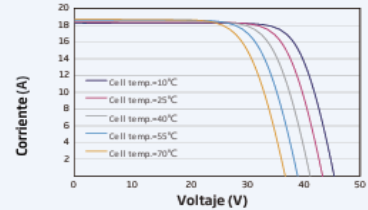
CURVAS I-V DEL MÓDULO(655W)



CURVAS P-V DEL MÓDULO(655W)



CURVAS I-V DEL MÓDULO(655W)



DATOS ELECTRICOS (STC)

Potencia Nominal - P _{MAX} (Wp)*	650	655	660	665	670
Tolerancia de Potencia Nominal - P _{MAX} (W)	0 ~ +5				
Voltaje en Máxima Potencia - V _{MPP} (V)	37.4	37.6	37.8	38.0	38.2
Corriente en Máxima Potencia - I _{MPP} (A)	17.39	17.43	17.47	17.51	17.55
Tensión de Circuito Abierto - V _{OC} (V)	45.3	45.5	45.7	45.9	46.1
Corriente de Corto Circuito - I _{SC} (A)	18.44	18.48	18.53	18.57	18.62
Eficiencia η _m (%) (%)	20.9	21.1	21.2	21.4	21.6

STC: Irradiación 1000W/m², Temperatura de Célula 25°C, Masa de Aire AM1.5 *Tolerancia de Medición: ±3%

DATOS ELECTRICOS (NOCT)

Potência Máxima - P _{MAX} (Wp)	492	496	500	504	508
Tensão de Potência Máxima - V _{MPP} (V)	34.9	35.1	35.3	35.4	35.6
Corrente de Potência Máxima - I _{MPP} (A)	14.09	14.13	14.17	14.22	14.26
Tensão de Circuito Aberto - V _{DC} (V)	42.7	42.9	43.0	43.2	43.4
Corrente de Curto Circuito - I _{SC} (A)	14.86	14.89	14.93	14.96	15.01

NOCT: Irradiación at 800W/m², Temperatura Ambiente 20°C, Velocidad del Viento 1m/s.

DATOS MECÁNICOS

Celdas	Monocrystalinas
No. de Celdas	132 celdas
Dimensiones	2384×1303×33 mm (93.86×51.30×1.30 pulgadas)
Peso	33.3 kg (73.4 lb)
Vidrio Frontal	3.2 mm (0.13 pulgadas), Alta Transmisión, Anti-Reflejo, Termoendurecido
Material Encapsulante	EVA
Backsheet	Blanco
Marco	33 mm(1.38 pulgadas) Aleación de Aluminio Anodizado
J-Box	IP 68
Cables	Cable de tecnología fotovoltaica 4.0mm² (0.006 pulgadas²) Retrato: 350/280 mm(13.78/11.02 pulgadas) Paisaje: 1400/1400 mm (55,12/55,12 pulgadas) Largo del cable customizable
Conectores	MC4 EVO2 / TS4*

*Consulte el conector con el vendedor local

COEFICIENTES DE TEMPERATURA

NOCT (Temp. Nominal de Operación de Célula)	43°C (±2°C)
Coefficiente de Temp. P _{MAX}	-0.34%/°C
Coefficiente de Temp. V _{OC}	-0.25%/°C
Coefficiente de Temp. I _{SC}	0.04%/°C

LIMITES OPERACIONALES

Temperatura Operacional	-40 ~ +85°C
Voltaje Máxima del Sistema	1500V DC (IEC), 1500V DC (UL)
Capacidad Max. del Fusivel	30A

GARANTÍA

12 Años de Garantía del Producto
25 Años de Garantía de Generación de Energía
2% Degradación del Primer Año
0.55% Degradación Anual de Potencia

(Consulte la garantía de producto para más informaciones)

CONFIGURACIONES DE EMBALAJE

Modulos por caja: 33 unidades
Modulos por contenedor 40': 594 unidades

PRECAUCIÓN: LEA LAS INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD E INSTALACIÓN ANTES EN EL MANUAL DE USUARIO DE UTILIZAR EL PRODUCTO © 2020 Trina Solar Limitada. Todos los derechos reservados. Las especificaciones están sujetas a cambios sin previo aviso.

Anexo 9. Ficha técnica del inversor solar Solis S5-GC100K-HV.

S5-GC(80-110)K

Solis Three Phase Grid-Tied Inverters

Efficient

- 9/10 MPPTs, max. efficiency 98.8%
- > 150% DC/AC ratio
- String current up to 16A, perfectly match large current bifacial modules

Smart

- Night SVG function
- Intelligent string monitoring, smart I-V curve scan
- Remote firmware upgrade with simple operation

Safe

- IP66
- Built-in PID recovery for better module performance (optional)
- AFCI protection, proactively reduces fire risk
- Globally recognised branded componentry for longer life

Economic

- Power line communication (PLC) (optional)
- DC side supports "Y" connector

Models:

S5-GC80K

S5-GC100K-HV

S5-GC110K-BHV



360° View



DATASHEET

S5-GC(80-110)K

Models	80K	100K-HV	110K-BHV
Input DC			
Max. input voltage		1100 V	
Rated voltage	600 V		720 V
Start-up voltage		195 V	
MPPT voltage range		180-1000 V	
Max. input current	9*32 A		10*32 A
Max. short circuit current	9*40 A		10*40 A
MPPT number/Max. input strings number	9/18		10/20
Output AC			
Rated output power	80 kW	100 kW	110 kW
Max. apparent output power	88 kVA	110 kVA	121 kVA
Max. output power	88 kW	110 kW	121 kW
Rated grid voltage	3/N/PE, 220 V / 380 V, 230 V / 400 V	3/PE, 480 V	3/PE, 540 V
Rated grid frequency		50 Hz / 60 Hz	
Rated grid output current	121.6 A / 115.5 A	120.3 A	117.6 A
Max. output current	133.7 A	132.3 A	129.4 A
Power factor		>0.99 (0.8 leading - 0.8 lagging)	
THDi		<3%	
Efficiency			
Max. efficiency	98.7%		98.8%
EU efficiency	98.3%		98.5%
Protection			
DC reverse-polarity protection		Yes	
Short circuit protection		Yes	
Output over current protection		Yes	
Surge protection		DC Type II / AC Type II	
Grid monitoring		Yes	
Anti-islanding protection		Yes	
Temperature protection		Yes	
Strings monitoring		Yes	
I/V Curve scanning		Yes	
Integrated AFCI (DC arc-fault circuit protection)		Yes ⁽¹⁾	
Integrated PID recovery		Optional	
Integrated DC switch		Yes	
Integrated AC switch		Optional	
General Data			
Dimensions (W*H*D)		1050*567*314.5 mm (with AC switch)	
Weight		85 kg	
Topology		Transformerless	
Self-consumption (night)		<2 W	
Operating ambient temperature range		-30 ~ +60°C	
Relative humidity		0-100%	
Ingress protection		IP66	
Cooling concept		Intelligent redundant fan-cooling	
Max. operation altitude		4000 m	
Grid connection standard		G98 or G99, VDE-AR-N 4105 / VDE-AR-N 4110 / VDE V 0124, EN 50549-1, VDE 0126 / UTE C 15 / VFR:2019, CEI 0-21, C10/11, NRS 097-2-1, TOR, EIFS 2018.2, IEC 62116, IEC 61727, IEC 60068, IEC 61683, EN 50530	
Safety/EMC standard		IEC/EN 62109-1/-2, IEC/EN 61000-6-2/-4	
Features			
DC connection		MC4 connector	
AC connection		OT terminal (max. 185 mm ²)	
Display		LCD	
Communication		RS485, Optional: Wi-Fi, GPRS, PLC	

(1) Activation required.

High Voltage Storage Solution

EverExceed
power your applications

Energy Storage Lithium battery ES563-280

Benefits

- ◆ 3-5 times longer service life than the traditional VRLA, helps to increase the systems operational reliability and saves frequent replacement cost;
- ◆ 60% lighter and 40% smaller than the exactly same capacity VRLA batteries, saves footprint, lessen the weight load and cooling consumption;
- ◆ 100% of usable energy provided by the LiFePO4 technology, allows you to discharge the battery entirely without any downtime of your operation;
- ◆ 100% charge can be done within 2.5-3 hours which is impossible for VRLA;
- ◆ Every battery comes with user friendly integrated BMS to monitor and communicate regarding the SOC, SOH, and to protect the system from short-circuit, high and low discharging and charging, temperature etc.;
- ◆ Solve problems such as high electricity prices and unstable electricity.;

Advantages



Saves money:

- ◆ 3-5 years warranty;
- ◆ 15+ years of design life;
- ◆ Up to 8X cycles than VRLA;



Save Space:

- ◆ 40% smaller;
- ◆ 60% lighter;



Reduce Risk:

- ◆ 24hrs x 7days BMS monitoring;



Manufacturing Excellence:

- ◆ 10+ years of Manufacturing experience;
- ◆ 3 OCV tests;
- ◆ 72hrs high temperature test;
- ◆ 14 days room temperature tests during production; ensures most reliable cells in the market;

ES563-280 LiFePO4 battery deliver proven quality and excellent performance, no matter whatever your PCS brand is.

EverExceed's LFP battery systems provide a reliable and flexible solution that ensures 24/7 ESS uptime while delivering significant total-cost-of-ownership (TCO) savings. Capable of providing mega-watts of power in a small foot-print, this battery solution is comprised of light-weight battery strings designed to seamlessly connect to a standard storage system. Lithium iron phosphate chemistry demonstrates superior characteristics in ESS applications, this results in high energy density, long life, flexible installation, improved cycle life and a lower TCO.

Application:

Power peak shaving and valley filling;



For reference

High Voltage Storage Solution

EverExceed[®]
power your applications

Technical Specification:

Basic Specification

Nominal Voltage	563.2V
Typical Capacity	280Ah
Energy	157.69KWh

Charging

Maximum charging voltage allowed	633.6V
Nominal Charge current	100A
Maximum charging current allowed	200A@battery initial temperature 25±5°C

Dis-Charging

Output voltage range	475.2~633.6V
Nominal discharge current	100A
Maximum dis-charging current allowed	200A
Cutoff voltage	475.2V

Others

Temperature	Charging: 0~45°C, Dis-charging: -20°C~60°C
Size (L*W*H)	980*980*1600mm
Weight	1800±100KG

Anexo 12. Ficha técnica del GE Rivera Diésel RVS228-C.



Grupo Electrónico Rivera Diésel RVS 228

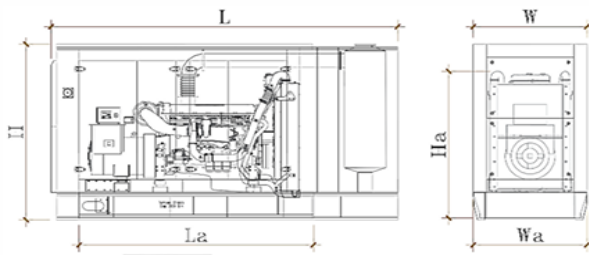
Soluciones de Energía
Diésel y Gas

Potencia de Salida del Grupo Electrónico a 60 Hz				
Tensión	Emergencia		Prime	
	kVA	kW	kVA	kW
440 / 254 V	286	228	260	208
380 / 220 V	285	228	260	208
220 / 110 V	286	228	260	208

Datos Técnicos Grupo Electrónico	
Modelo del Motor	TAD734GE
Modelo del Alternador	UCDI274J1
Modelo de Controlador	IL-NT MRS16
Velocidad	* 1,800 rpm
Frecuencia	* 60 Hz
Fases	* 3 Fases
Voltajes configurables	* 220/380/440 V
Consumo de Combustible en Régimen de Emergencia	
Al 100% de carga	16.08 gal/hr
Al 75% de carga	13.11 gal/hr
Capacidad del Tanque de combustible	112 gal
Autonomía de Trabajo en Regimen Std-by	7 hr



Dimensiones y Peso Versión Abierta		
Longitud (La)	m	2.65
Ancho (Wa)	m	1.12
Altura (Ha)	m	1.67
Peso aprox.	kg	2000
Nivel de Ruido @ 7m	dB(A)	115



Condiciones de Trabajo		
Temperatura Ambiente	°C	≤ 40
Humedad Relativa	%	≤ 90
Altitud	m	≤ 1,000
Altitud Máxima de trabajo	m.s.n.m	≤ 4000

Dimensiones y Peso Versión Insonorizado		
Longitud (L)	m	3.59
Ancho (W)	m	1.25
Altura (H)	m	2.05
Peso aprox.	kg	2900
Nivel de Ruido @ 7m	dB(A)	78

Motor Diésel TAD734GE

Alternador UCDI274J1

VOLVO PENTA

STAMFORD®

Especificaciones del Motor			
Modelo del Motor	TAD734GE		
Fabricante del Motor	Volvo Penta		
Número de Cilindros	6		
Disposición de los Cilindros	Vertical en Línea		
Ciclo	Cuatro Tiempos		
Aspiración	TC / PE ¹		
Diámetro x Carrera (mm x mm)	108x130		
Desplazamiento (L)	7.15		
Relación de Compresión	17:01		
Velocidad del Motor	1800 rpm		
Potencia bruta en Régimen Emergencia	247 kWm		
Potencia bruta en Régimen Continua	223 kWm		
Gobernador	Electrónica EMS 2		
Caída de Velocidad Constante (%)	≤ 1 %		
Capacidad de Aceite del Sistema de Lubricación (L)	29		
Capacidad de Refrigerante (L)	32		
Método de Refrigeración	Por agua		
Arranque del Motor	DC24V		
Alternador	AC24V		
Niveles de Emisión	EU	Stage	2
	EPA	Tier	2

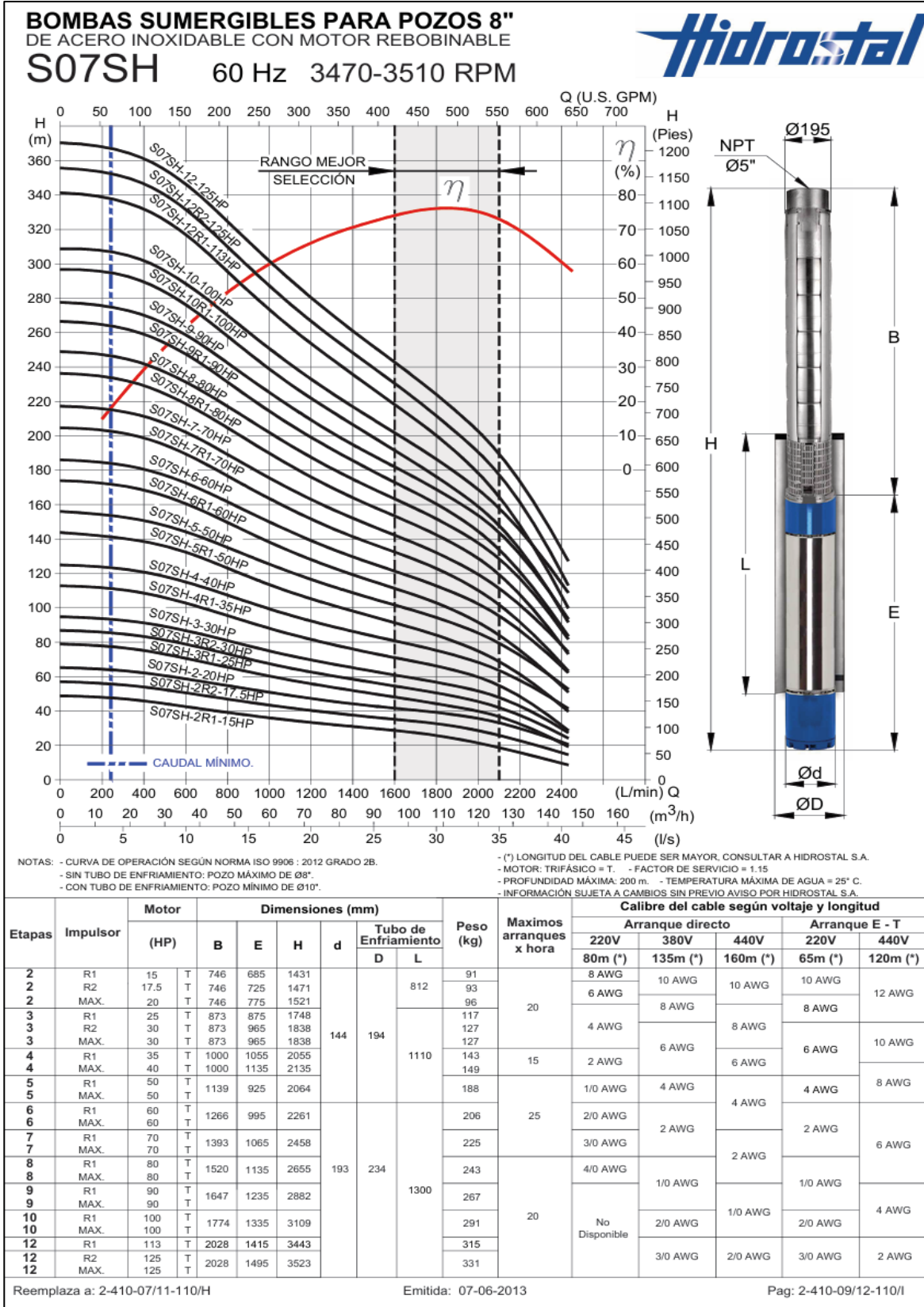
Consumo de combustible	
Régimen de Emergencia (Std-by)	
Al 100% de carga	16.08 gal/hr
Al 75% de carga	13.11 gal/hr
Al 50% de carga	9.28 gal/hr
Régimen Prime	
Al 100% de carga	14.38 gal/hr
Al 75% de carga	11.68 gal/hr
Al 50% de carga	8.31 gal/hr
Autonomía de Trabajo en Régimen Std-by	7 hr
Autonomía de Trabajo en Régimen Prime	8 hr

Especificaciones del Alternador	
Modelo del Alternador	UCDI274J1
Fabricante del Alternador	Stamford
Sistema de Excitación	Shunt
Potencia en Emergencia	300 KVA 240 KW
Potencia Continua	281 KVA 224.8 KW
Velocidad	* 1,800 rpm
Frecuencia	* 60 Hz
Fases	* 3
Voltaje	* 440/220V
Eficiencia del Generador FP 80%	92.5%
Regulador de Voltaje	SX460
Regulación de Voltaje	± 1 %
Tipo de Aislamiento	H
Grado de Protección	IP 23
Distorsión Total de Harmónicos (THD)	< 2%
Sobrevelocidad	2250 rpm
Wave Form: Nema = TIF	< 50

Sistema de enfriamiento	
Flujo de aire del Radiador	5.38 m3/s
Temperatura del Aire caliente	71 °C
Máxima Contrapresión Permitida	230 Pa

Sistema de Escape	
Máxima Contrapresión Permitida	10 kPa
Flujo de gases de escape	
Regimen de Emergencia	37.9 m3/min
Regimen Prime	36.7 m3/min
Temperatura de gases de escape	
Regimen de Emergencia	510 °C
Regimen Prime	475 °C



Anexo 13. Ficha técnica de la electrobomba sumergible 70 HP.



Anexo 14. Ficha técnica del gestor energético DEIF ASC-150 Solar.

3. Technical specifications	
3.1 Electrical specifications	
Power supply	
Power supply range	Nominal voltage: 12 V DC or 24 V DC Operating range: 6.5 to 36 V DC
Voltage withstand	Reverse polarity
Power supply drop-out immunity	0 V DC for 50 ms (coming from min. 6 V DC)
Power supply load dump protection	Load dump protected according to ISO16750-2 test A
Power consumption	5 W typical 12 W max.
RTC clock	Time and date backup
Supply voltage monitoring	
Measuring range	0 V to 36 V DC Max. continuous operating voltage: 36 V DC
Resolution	0.1 V
Accuracy	±0.35 V
Voltage measurement	
Voltage range	Nominal range: 100 to 690 V phase-to-phase (above 2000 m derate to max. 480 V)
Voltage withstand	$U_n +35\%$ continuously, $U_n +45\%$ for 10 seconds Measuring range of nominal: 10 to 135 % Low range, nominal 100 to 260 V: 10 to 351 V AC phase-to-phase High range, nominal 261 to 690 V: 26 to 932 V AC phase-to-phase
Voltage accuracy	±1 % of nominal within 10 to 75 Hz +1/-4 % of nominal within 3.5 to 10 Hz
Frequency range	3.5 to 75 Hz
Frequency accuracy	±0.01 Hz within 60 to 135 % of nominal voltage ±0.05 Hz within 10 to 60 % of nominal voltage
Input impedance	4 MΩ/phase-to-ground, and 600 kΩ phase/neutral
Current measurement	
Current range	Nominal: -/1 A and -/5 A Range: 2 to 300 %
Number of CT input	4
Max. measured current	3 A (-/1 A) 15 A (-/5 A)
Current withstand	7 A continuous 20 A for 10 seconds 40 A for 1 second
Current accuracy	From 10 to 75 Hz: <ul style="list-style-type: none"> ±1 % of nominal from 2 to 100% current ±1 % of measured current from 100 to 300 % current

Anexo 15. Ficha técnica del gestor energético DEIF ASC-150 Storage.

ASC 150 Storage  Improve Tomorrow	
Technical specifications	
AC measuring <ul style="list-style-type: none"> Voltage: 100 to 690 V phase-to-phase (10 to 135 %), ±1 % Current: -/1 A or -/5 A (2 to 300 %), ±1 % Frequency: 3.5 to 75 Hz Power: ±1 % 	Approvals <ul style="list-style-type: none"> CE  More information See www.deif.com for the most recent approvals.
Power supply <ul style="list-style-type: none"> Nominal voltage: 12/24 V DC Operating range: 6.5 to 36 V DC Load dump protection: ISO16750-2 Measuring range: 0 to 36 V DC 	Protections <ul style="list-style-type: none"> 2 x Fast over-current.....ANSI 50P 4 x Over-current.....ANSI 51 1 x Voltage-dependent over-current.....ANSI 51V 2 x Over-voltage.....ANSI 59P 3 x Under-voltage.....ANSI 27P 3 x Over-frequency.....ANSI 81O 3 x Under-frequency.....ANSI 81U 1 x Unbalanced voltage.....ANSI 47 1 x Unbalanced current.....ANSI 46 1 x Under-excitation or var import.....ANSI 32RV 1 x Over-excitation or var import.....ANSI 32FV 5 x Overload.....ANSI 32F 1 x Neutral current.....ANSI 51N 3 x Busbar over-voltage.....ANSI 59P 4 x Busbar under-voltage.....ANSI 27P 3 x Busbar over-frequency.....ANSI 81O 3 x Busbar under-frequency.....ANSI 81U 1 x Emergency stop.....ANSI 1 1 x Low auxiliary supply.....ANSI 27DC 1 x High auxiliary supply.....ANSI 59DC 1 x ES breaker external trip.....ANSI 5 Synchronisation failure alarms.....ANSI 25 Breaker open failure.....ANSI 52BF Breaker close failure.....ANSI 52BF Breaker position failure.....ANSI 52BF 1 x Phase sequence error.....ANSI 47 1 x De-load error.....ANSI 34 1 x Hz/V failure.....ANSI 53 1 x Not in Auto.....ANSI 34
Inputs and outputs <ul style="list-style-type: none"> Digital inputs: 12 x (max. +36 V, min. -24 V) Digital outputs: <ul style="list-style-type: none"> 2 x (15 A inrush, 3 A continuously) 10 x (2 A inrush, 0.5 A continuously) Common: 12/24 V DC 4 x analogue inputs 2 x analogue outputs CAN bus A and B RS-485 1 and 2 RJ-45 Ethernet USB (service port) 	
Environment <ul style="list-style-type: none"> Operating temperature: -40 to +70 °C (-40 to +158 °F) Storage temperature: -40 to +85 °C (-40 to +185 °F) Altitude: 0 to 4000 m Humidity: 20/55 °C at 95 % RH Protection degree: IP65 in panel, IP20 on terminals Pollution degree 2 Self-extinguishing plastic 	

Anexo 16. Ficha técnica del gestor energético DEIF AGC-4 Mk-II.

4. Datos técnicos

4.1 Especificaciones técnicas

Mediciones y protecciones para corriente alterna

El controlador mide la tensión y la corriente en un lado de un interruptor y la tensión en el otro lado.

Mediciones de tensión: Todas las tensiones son tensiones alternas (c.a.) entre fases. Hay especificaciones para rangos de tensión **Baja** y **Alta**. El rango de tensiones está determinado por U_n . Para los terminales 79 hasta 84, U_n corresponde a la tensión en el secundario del transformador en el parámetro 6042. Para los bornes 85 hasta 89, U_n corresponde a la tensión en el secundario del transformador en los parámetros 6052/6062. Para tensiones por debajo del nivel de truncado se indica el valor 0 V.

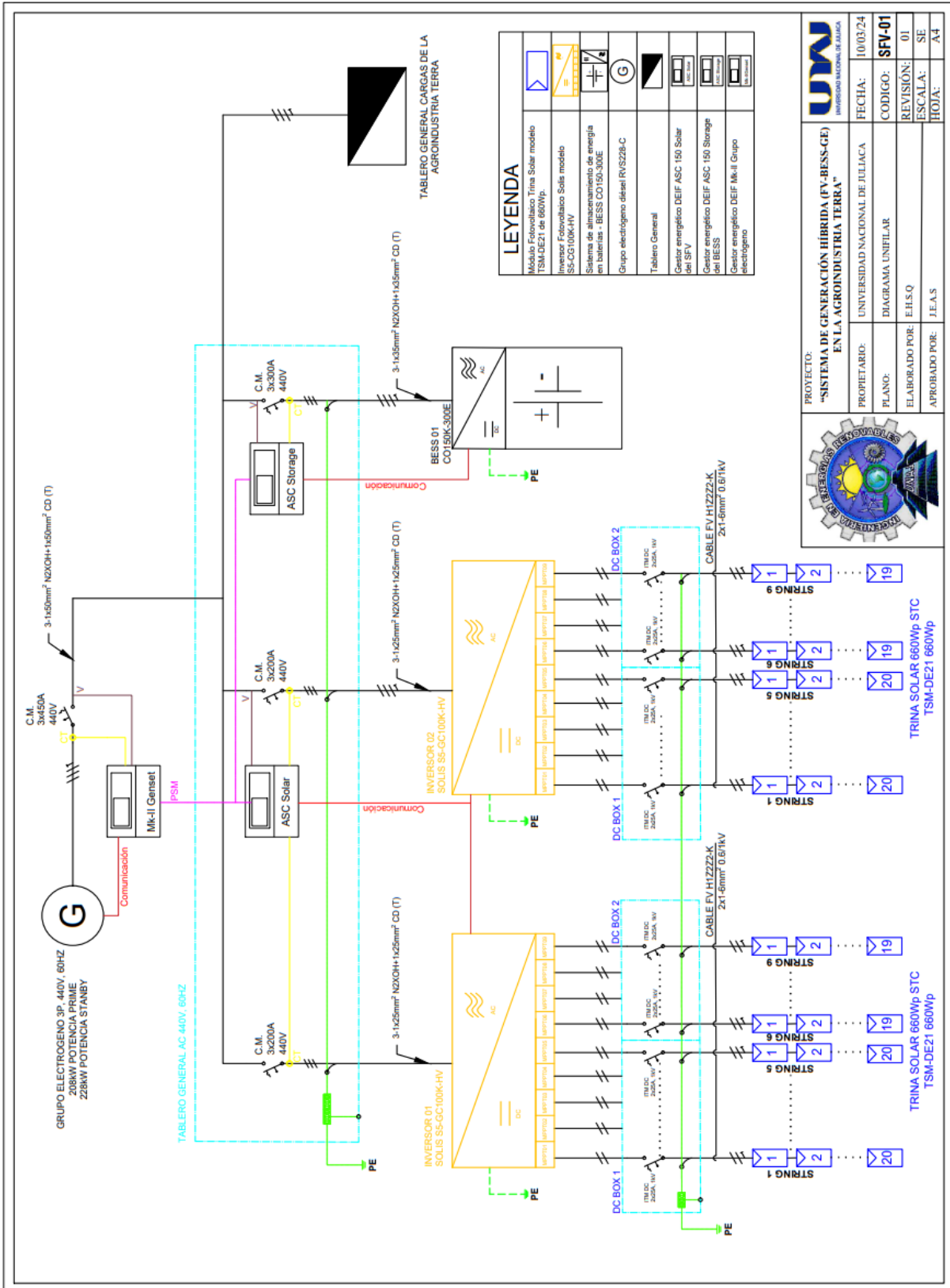
Mediciones de corriente: Todas las corrientes son alternas. Existen especificaciones para rangos de intensidad **Baja** y **Alta**. El rango de intensidad está determinado por I_N , la intensidad en el secundario del transformador en el parámetro 6044. Para intensidades por debajo del nivel de truncado, se indica 0 A.

El rango de tensiones depende del rango de intensidades y viceversa.

Todas las especificaciones están dentro de las condiciones de referencia, mientras no se mencione de otro modo.

Mediciones de tensión	<p>Valor nominal (U_n): 100 hasta 690 V. Bajo: $100 \leq U_n \leq 240$ V Alto: $240 < U_n \leq 690$ V</p> <p>Rango de referencia: Bajo: 65 hasta 324,0 V Alto: 156,7 hasta 931,5 V</p> <p>Rango de medida: Bajo: 5,0 hasta 324,0 V, truncado: 2 V Alto: 12,0 hasta 931,5 V, truncado: 5 V</p> <p>Precisión: Bajo: 5,0 hasta 324,0 V: $\pm 0,5$ % o $\pm 0,5$ V (el que sea mayor de ambos) Alto: 12,0 hasta 931,5 V: $\pm 0,5$ % o $\pm 1,2$ V (el que sea más grande)</p> <p>Homologados por UL/cUL: 600 V c.a. entre fases Consumo: Máximo 0,25 VA/fase</p>
Tensión y altitud	<p>Altitud de operación: 0 hasta 4000 m sobre el nivel del mar 2001 a 4000 m: Máximo 480 V AC entre fases para medición de una tensión 3W4. No se aplica derrateo para 3W3.</p>
Tensión soportada	<p>$U_n + 35$ % permanentemente $U_n + 45$ % durante 10 segundos</p>
Mediciones de corriente	<p>Valor nominal (I_N): Bajo: 1 A AC del transformador de intensidad Alto: 5 A AC del transformador de intensidad</p> <p>Rango de medida: Bajo: 0,005 hasta 4,0 A, truncado: 4 mA Alto: 0,025 hasta 20,0 A, truncado: 20 mA</p> <p>Precisión: Bajo: 0,005 hasta 4,0 A: $\pm 0,5$ % o ± 5 mA (el mayor de ambos) Alto: 0,025 hasta 20,0 A: $\pm 0,5$ % o ± 25 mA (el mayor de ambos)</p>

Anexo 17. Diagrama Unifilar del Sistema Híbrido (SFV, BESS y Grupo electrógeno).



LEYENDA

	Módulo Fotovoltaico Trina Solar modelo TSM-DE21 de 660Wp.
	Inversor Fotovoltaico Solis modelo SS-CG100K-HV
	Sistema de almacenamiento de energía en baterías - BESS CO150-300E
	Grupo electrógeno diseño RVSZ28-C
	Tablero General
	Gestor energético DEIF ASC 150 Solar del SFV
	Gestor energético DEIF ASC 150 Storage del BESS
	Gestor energético DEIF Mk-II Grupo electrógeno

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

PROYECTO: "SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDA (FV-BESS-GE) EN LA AGROINDUSTRIA TERRA"

FECHA: 10/03/24

PROPIETARIO: UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

PLANO: DIAGRAMA UNIFILAR

ELABORADO POR: E.H.S.Q

APROBADO POR: J.E.A.S

CODIGO: **SFV-01**

REVISIÓN: 01

ESCALA: SE

HOJA: 41

Anexo 18. Diagrama Distribución del Sistema Híbrido.



		PROYECTO: "SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDA (FV-BESS-GE) EN LA AGROINDUSTRIA TERRA"	FECHA: 10/03/24	
	PROPIETARIO: UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA	PLANO: DIAGRAMA DISTRIBUCIÓN	CODIGO: SFV-01	
	ELABORADO POR: E.H.S.O	APROBADO POR: J.E.A.S	REVISIÓN: 01	ESCALA: SE
	HOJA: 34			