

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Rediseño del sistema de generación fotovoltaica para
una comunidad aislada del Golfo de Guayaquil”

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

JOSUÉ BENITO CUÑAS REYES

GREGORIO JOEL VILLAO NEIRA

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

DEDICATORIA

Este proyecto es dedicado para todos aquellos jóvenes que han visto sus sueños truncados, debido a la falta de apoyo. También de manera especial a dos grandes personajes en mi vida que ya no los tengo cerca, mi abuelo Gerardo Enrique Reyes y mi querido entrenador Gualberto Caridad Rojas quienes con sus enseñanzas de vida y motivación forjaron dentro de mi parte de la persona que soy.

Josué Benito Cuñas Reyes

Dedico el presente trabajo a mis abuelos Felipe Villao y María Concepción Neira por todo el amor y apoyo moral brindado a lo largo de esta etapa, por todo el esfuerzo y dedicación que le pusieron a mi educación, a pesar de que ya no estén físicamente presentes los llevo infinitamente en mi memoria.

Gregorio Joel Villao Neira

AGRADECIMIENTO

Durante toda esta larga etapa de mi vida universitaria hubo muchas personas que marcaron y dejaron huella dentro de mí, por lo que siempre estaré eternamente agradecido por todo lo aprendido y vivido junto a ellos. De manera especial agradezco a mis padres Rosario Reyes González y Edwin Cuñas Murcia quienes estuvieron al pendiente de manera incondicional en todos los aspectos y situaciones a lo largo de mi vida . A Emily Fierro Morales y su Familia por su inmensa ayuda y motivación para la consecución de este proyecto.

Josué Benito Cuñas Reyes

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; **Josué Benito Cuñas Reyes** y **Gregorio Joel Villao Neira** damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



**Josué Benito Cuñas
Reyes**



**Gregorio Joel Villao
Neira**

EVALUADORES

**EMERITA
ALEXANDRA
DELGADO
PLAZA**

Firmado digitalmente por
EMERITA ALEXANDRA DELGADO
PLAZA
Nombre de reconocimiento (DN):
cn=EMERITA ALEXANDRA
DELGADO PLAZA,
serialNumber=150921191312,
ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION
DE INFORMACION, o=SECURITY
DATA S.A. 2, c=EC
Fecha: 2021.10.06 16:07:30 -05'00'

**JUAN
MANUEL
PERALTA
JARAMILLO**

Firmado digitalmente por JUAN
MANUEL PERALTA JARAMILLO
Nombre de reconocimiento (DN):
c=EC, o=SECURITY DATA S.A. 1,
ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION
DE INFORMACION,
serialNumber=280920183144,
cn=JUAN MANUEL PERALTA
JARAMILLO
Fecha: 2021.09.24 16:19:29 -05'00'

PhD. Emérita Alexandra Delgado Plaza

PROFESOR DE LA MATERIA

PhD. Juan Manuel Peralta Jaramillo

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Ecuador debido a su posición geográfica cuenta con diferentes tipos de climas que permiten la implementación de sistemas de energía renovable, como una estrategia para reducir la pobreza energética y contribuir a la disminución de gases de efecto invernadero. Es importante destacar que es un país en vías de desarrollo, todavía mantiene comunidades aisladas donde no hay acceso a los servicios básicos, tales como electricidad, agua potable, alcantarillado, telefonía e internet. Dando cumplimiento al ODS 7, se pretende acelerar el acceso a los servicios básicos en estas comunidades, contribuyendo a una mejor calidad de vida a los habitantes e incrementar la producción de energía limpia y la eficiencia energética. Este proyecto tiene como objetivo, rediseñar un sistema de energización híbrido, utilizando el software HomerPro, junto a diferentes criterios técnicos-económicos-ambientales, para la comunidad de la isla Bellavista ubicada en el Golfo de Guayaquil. Esta comunidad cuenta con sistemas de energía solar fotovoltaica que operan de forma parcial, por lo tanto necesitan ser repotenciados. Una vez realizada las simulaciones y cálculos respectivos, se determinó que: el rediseño y repotenciación del sistema de energización se basará en un modelo híbrido constituido por un sistema de energía solar fotovoltaica y un generador eléctrico a Diesel. Finalmente se sugiere un sistema centralizado que cubra la demanda energética requerida de las 29 edificaciones de la comunidad. El capital inicial del sistema centralizado es de \$ 16742.50 con un tasa interna de retorno del 104%, y una producción energética de 156001 kWh/año. Cubriendo así toda la demanda energética y un futuro aumento de las cargas eléctricas del 20 %.

Este proyecto aporta para el correcto dimensionamiento de sistemas de energización híbridos aislados, que permitan garantizar la electrificación de las diferentes islas localizadas en el golfo de Guayaquil.

Palabras clave : Energía fotovoltaica, sistema aislado, HomerPro, Sistema Híbrido, sistemas centralizados.

ABSTRACT

Ecuador, due to its geographical position, has different types of climates that allow the implementation of renewable energy systems, as a strategy to reduce energy poverty and contribute to the reduction of greenhouse gases. It is important to note that it is a developing country, it still maintains isolated communities where there is no access to basic services, such as electricity, drinking water, sewerage, telephony, and internet. In compliance with SDG 7, it is intended to accelerate access to basic services in these communities, contributing to a better quality of life for the inhabitants and increasing the production of clean energy and energy efficiency. This project aims to redesign a hybrid energy system, using HomerPro software, together with different technical-economic-environmental criteria, for the Bellavista island community located in the Gulf of Guayaquil. This community has photovoltaic solar energy systems that operate partially, therefore they need to be repowered. Once the simulations and designated prices had been carried out, it was determined that: the redesign and repowering of the energy system will be based on a hybrid model consisting of a photovoltaic solar energy system and a diesel electric generator. Finally, a centralized system is suggested to cover the required demand of the 29 buildings in the community.

The initial capital of the centralized system is \$ 16742.50 with an internal rate of return of 104%, and an energy production of 156001 kWh / year. Thus, covering all energy demand and a future increase in electrical charges of 20%.

This project contributes to the correct dimensioning of isolated hybrid energy systems, which will guarantee the electrification of the different islands located in the Gulf of Guayaquil.

Key words: *Photovoltaic energy, Isolated system, HomerPro, Hybrid system, Centralized system.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Justificación del problema	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 Marco teórico.....	3
1.4.1 Tipos de energías generadas en ecuador	3
1.4.2 Generación de energía renovable en Ecuador	5
1.4.3 Energía solar fotovoltaica	6
1.4.4 Celdas fotovoltaicas.....	7
1.4.5 Equipos y elementos para instalaciones fotovoltaicas.....	8
1.4.5.1 Panel solar o módulo fotovoltaico	9
1.5 Tipos de conexiones en sistemas fotovoltaicos.....	12
1.5.1 Sistemas conectados a la red.....	12
1.5.2 Sistemas aislados.....	12
CAPÍTULO 2.....	14
2. METODOLOGÍA.....	14
2.1 Procesos de diseño	14

2.2	Localización geográfica del Proyecto	15
2.3	Información Meteorológica de la Zona.....	16
2.3.1	Datos de Temperatura – Precipitación - Humedad.....	16
2.3.2	Datos de Viento	18
2.3.3	Datos de Radiación e Irradiación.....	19
2.4	Datos relevantes para la simulación.....	21
2.4.1	Consumo eléctrico en una vivienda.....	21
2.4.2	Ecuaciones representativas para el dimensionamiento.....	22
2.4.3	Proceso para el dimensionamiento y selección de los equipos.....	25
2.4.4	Orientación y dirección para el arreglo de paneles fotovoltaicos	26
2.5	Herramientas de simulación	27
2.5.1	Proceso de simulación en HommerPRO	28
2.5.2	Simulación en HommerPRO.....	29
CAPÍTULO 3.....		30
3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	30
3.1	Resultados cálculos teóricos	30
3.2	Escenario 1 (Simulación individual).....	32
3.3	Escenario 2 (Simulación centralizado).....	34
3.4	Análisis para el escenario 3 y escenario 4.....	38
CAPÍTULO 4.....		43
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	43
4.1	Conclusiones.....	43
4.2	Recomendaciones	44
BIBLIOGRAFÍA		
APÉNDICES		

ABREVIATURAS

HomerPro	Modelo de optimización híbrida para recursos energéticos múltiples
TIR	Tasa interna de retorno
COE	Costo de la energía
VAN	Valor actual Neto
ODS	Objetivos de desarrollo sostenible
ONU	Unión de las Naciones Unidas
BEP	Barriles equivalente de petróleo
NASA	Administración Nacional de Aeronáutica y del espacio
GHI	Índice global de radiación horizontal
INHAMI	Instituto nacional de hidrología y meteorología del Ecuador
INOCAR	Instituto oceanográfico de la armada del Ecuador

SIMBOLOGÍA

KWh	Kilovatios horas
Ah	Amperio Horas
kVA	Kilovatios-Amperio
GWh	Giga-watts Horas
Hz	Hertz
V	voltaje
DC	Corriente directa
AC	Corriente alterna
A	Amperios
mm	Milímetros

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Esquema de fuentes de energía.....	4
Figura 1.2 Demanda de energía por sector (%).	4
Figura 1.3 Generación energética por fuentes	5
Figura 1.4. Modulo Fotovoltaico de 72 Celdas- Configuración Derecha.....	8
Figura 1.5 Elementos de una Instalación Fotovoltaica	8
Figura 1.6 Inversor de corriente 2000 W	12
Figura 2.1. Flujograma del diseño de generación eléctrica isla bellavista	14
Figura 2.2 Imagen Satelital de la comunidad en la isla bellavista.....	15
Figura 2.3 Disposición de la infraestructura localizada en la comuna.	15
Figura 2.4 Mapa de temperaturas (°C) medias anuales en Ecuador	16
Figura 2.5 Promedios mensuales de temperatura en la zona	17
Figura 2.6 Mapa de precipitaciones (mm) media anual	17
Figura 2.7 Mapa de humedad relativa (%) media anual	18
Figura 2.8 Mapa de viento (Frecuencia Este m/s) media anual	18
Figura 2.9 Promedio mensuales de viento en la zona.....	19
Figura 2.10 Tipos de Radiación e Irradiación Solar	20
Figura 2.11 Irradiación Solar Global Horizontal	20
Figura 2.12 Promedio mensual de irradiación en la zona	21
Figura 2.13 Orientación y Dirección para los paneles fotovoltaicos.	26

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Generación de Energía Eléctrica (GWh)	6
Tabla 1.2 Diferencia entre los tipos de paneles.....	9
Tabla 1.3 Tipos De baterías Según el material	10
Tabla 1.4 Ventajas y Desventajas de Diferentes tipos de Baterías	11
Tabla 2.1 Consumos eléctricos de una vivienda pequeña	21
Tabla 2.2 Especificaciones de diseño para el sistema según el NREL.	27
Tabla 3.1 Elementos utilizados para las simulaciones	33
Tabla 3.2 Resultados análisis económico para el caso individual.	33
Tabla 3.3 Elementos utilizados para las simulaciones	35
Tabla 3.4 Resultados análisis económico para el caso centralizado.....	36
Tabla 3.5 Tabla de comparación de variables para ambos casos simulados..	38
Tabla 3.6 Cálculo del número de paneles	31
Tabla 3.7 Cálculo para el número de baterías.....	32
Tabla 3.8 Comparación número de equipos.....	39
Tabla 3.9 Paneles para el diseño caso individual.....	40
Tabla 3.10 Paneles para el diseño caso centralizado.	40
Tabla 3.11 Costos equipos e implementos para el diseño caso individual.....	41
Tabla 3.12 Costos equipos e implementos para el diseño caso centralizado .	42

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Al ser Ecuador un país ubicado sobre la línea ecuatorial goza de un clima privilegiado a diferencia de otros países, lo que le permite el desarrollo de fuentes alternativas para la generación energética tales como la energía solar fotovoltaica, energía eólica, energía mareomotriz, entre otras. La producción de energías alternativas en la última década ha ido en aumento a nivel mundial, ya que los efectos del cambio climático se están evidenciando, así mismo la reducción de las reservas globales de combustibles fósiles hacen que se tengan en cuenta estos otros tipos de energía.

La energía solar fotovoltaica otorga grandes ventajas entre ellas: una sencilla instalación, fuentes primarias gratuitas e ilimitadas, funcionamiento automático, electrificación de zonas aisladas en donde la red eléctrica convencional no tiene acceso.

Ecuador es un país en vías de desarrollo que cuenta con comunidades aisladas y en ciertos casos incomunicados en lugares como selvas, islas y montañas. Por tal motivo el desarrollo de estas tecnologías es de suma importancia para que estas comunidades puedan progresar y tener un mejor estilo de vida, así mismo disminuir los niveles en las emisiones de gases de efecto invernadero generado por la quema de combustible fósiles usados para la generación de energía eléctrica.

En cumplimiento del objetivo de desarrollo sostenible (ODS) 7 se ha empezado un acelerado acceso a la electricidad en países pobres, dando como resultado un incremento en los niveles de eficiencia energética y energías renovables, para ello es necesario promover la inversión pública y privada en infraestructura y tecnología energética limpia.

Las ciudades del mundo se establecen solo en un 3% de la superficie terrestre, pero ocupan entre el 60 y 80 % del consumo energético y el 75 % de las emisiones de monóxido de carbono (ONU, OBJETIVO DE DESARROLLO SOSTENIBLE 11 , 2021)

1.1 Descripción del problema

En las comunidades aisladas del golfo de Guayaquil debido a su ubicación, no se encuentran ubicadas al sistema nacional eléctrico, por tal motivo las comunidades se han visto con la necesidad de utilizar otras fuentes de generación de energía entre estas están las termoeléctricas, solar y eólica. En la isla Bellavista se realizó un análisis previo donde se evidenció lo siguiente:

“La comunidad cuenta con sistemas autónomos de energía solar fotovoltaica instalados por el FERUM (Fondo de Electrificación Rural y Urbano Marginal) en el año 2010 que servirían como fuente de suministro de energía para las viviendas de la isla, sin embargo, en la actualidad se ha identificado que el 90% de los sistemas fotovoltaicos se encuentran fuera de servicio debido al manejo inadecuado por parte de los usuarios, teniendo como única fuente de energía eléctrica un generador de diésel que funciona únicamente 5 horas al día.” (Peralta, 2019)

Para alcanzar el ODS7 (Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos), para 2030, es necesario invertir en fuentes de energía limpia, como la solar, eólica y termal y mejorar la productividad energética. (ONU, OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE 7, 2021)

Así mismo para aportar al desarrollo del ODS 13 (Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos), se pretende expandir la infraestructura y mejorar la tecnología para contar con energía limpia en todos los países en desarrollo, es un objetivo crucial que puede estimular el crecimiento y a la vez ayudar al medio ambiente. (ONU, OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE 13, 2021)

Para este proyecto, se pretende rediseñar un sistema de generación fotovoltaica e híbrida teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas, geográficas y económicas de la isla Bellavista, con el fin de ayudar en el desarrollo sostenible y sustentable de la comunidad mencionada.

1.2 Justificación del problema

La mayoría de asentamientos ubicados en las islas del golfo de Guayaquil no cuenta con sistemas de electrificación lo suficientemente robustos que permitan la generación

apropiada de electricidad para cubrir las necesidades mínimas de la población. Ha esto se suma la dificultad de transportación de combustible diésel para los generadores convencionales siendo el único recurso disponible la radiación solar. En la práctica existen sistemas solares instalados que necesitan ser repotenciados o rediseñados acorde a criterios técnicos, energéticos y ambientales. Adicionalmente, gran parte del levantamiento de información relacionada a pobreza energética en las comunidades del golfo de Guayaquil se basa en las actividades que se encuentra realizando uno de los programas institucionales de vinculación con la sociedad.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Rediseñar el sistema de generación fotovoltaica utilizando el modelo de optimización de micro energía del programa HOMER para una comunidad aislada en el golfo de Guayaquil.

1.3.2 Objetivos específicos

- Rediseñar un sistema solar fotovoltaico de acuerdo con las características de radiación y los requerimientos eléctricos.
- Desarrollar un análisis de sensibilidad considerando criterios técnicos y económicos con relación a la configuración del sistema propuesto.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Tipos de energías generadas en Ecuador

La producción energética en el Ecuador se puede clasificar en fuentes primarias y secundarias, en la figura 1.1 se puede identificar el proceso de transformación energética. Según datos del ministerio de energía y recursos naturales no renovables entre 2009 y 2019 se evidencio un crecimiento en el consumo energético por habitante

del 10,7 % pasando de 4. 94 BEP/ hab. En 2009 a 5.47 BEP/ Hab en 2019, lo que representa una tasa anual de incremento del 1.0% (Renovables, 2020)

Así mismo el consumo de energía eléctrica por habitante del 2009 al 2019 se incrementó un 39.4 % desde 1.088 kWh por habitante a 1.517 kWh por habitante. (Renovables, 2020)

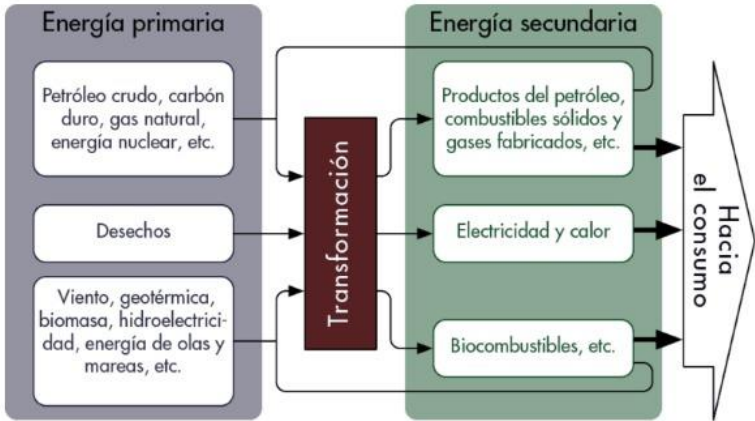


Figura 1.1: Esquema de fuentes de energía (Resourcefulness, 2021)

En el país la demanda energética ha ido en aumento a medida que pasan los años ya que la población incrementa así mismo el desarrollo de nuevas tecnologías e infraestructuras influyen en el crecimiento de este indicador. El sector residencial es el tercero de mayor demanda energética en el país con un promedio de 12 millones de BEP siendo así el 13.4 % del total de energía utilizada en Ecuador.

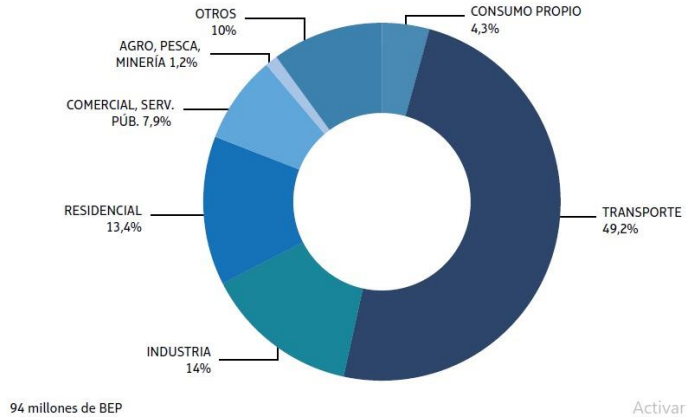


Figura 1.2

Figura 1.2: Demanda de energía por sector (%). (Renovables, 2020)

En Ecuador se genera electricidad a partir de fuentes renovable y no renovables de energía. siendo las primeras las de mayor importancia. La potencia total producida en el año 2019 fue de 32.315 GWh de este el 78.1 % corresponde a fuentes renovables de energía tales como: energía hidráulica, biomasa, eólica, biogás y solar.

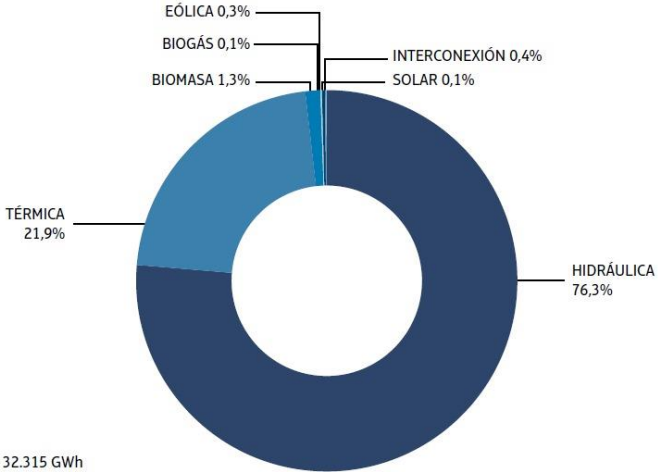


Figura 1.3 Generación energética por fuentes (Renovables, 2020)

1.4.2 Generación de energía renovable en Ecuador

Según datos del ministerio de Energía y recursos no renovables, En el año 2019 la producción de electricidad por fuentes renovables represento el 89.4 % de todo el sistema nacional interconectado. Entre estos la energía solar fotovoltaicas genero 38 GWh teniendo una varianza promedio anual desde el 2009 al 2019 del 133.29 % esto indica que ha habido un gran aumento en la producción de este tipo de energía en Ecuador, pero contrastando con el total nacional solamente representa el 0.1% es decir no se ha masificado la implementación de más sistemas fotovoltaicos que permitan un mejor aprovechamiento de los recursos solares que tiene el país.

Tabla 1.1. Generación de Energía Eléctrica (GWh) (Renovables, 2020)

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Var. (%) 2019/ 2018	Var. (%) promedio anual 2009/2019	
HIDRÁULICA	9.225	8.636	11.133	12.238	11.039	11.458	13.096	15.834	20.089	20.678	24.665	19,28	10,33	
TÉRMICA	8.819	10.634	9.129	10.311	11.865	12.354	12.311	10.868	7.375	8.019	7.066	-11,89	-2,19	
OTRAS RENOVABLES	BIOMASA	217	236	278	296	296	399	408	477	431	382	414	8,14	6,69
	BIOGÁS	-	-	-	-	-	-	-	13	28	46	41	-9,58	-
	EÓLICA	3	3	3	2	57	80	99	84	73	80	86	6,57	38,88
	SOLAR	-	-	-	-	4	16	36	39	37	38	38	-1,21	133,29
	TOTAL	220	239	282	299	356	496	543	612	570	546	578	5,78	10,15
INTERCONEXIÓN	1.121	873	1.295	238	662	837	512	82	19	106	6	-94,50	-40,90	
TOTAL	19.385	20.383	21.839	23.086	23.923	25.144	26.462	27.396	28.051	29.350	32.315	10,10	5,24	

1.4.3 Energía solar fotovoltaica

La conversión de la radiación solar en energía eléctrica mediante celdas solares se desarrolló como parte de la tecnología de satélites y viajes espaciales. La tecnología actual utiliza materiales semiconductores para generar electrones y conducirlos en una dirección preferida utilizando una unión p-n, la eficiencia máxima teórica de una celda solar individualmente es de aproximadamente 33%, pero en la práctica se ha llegado a tener eficiencias máximo de 15 % con dispositivos fotovoltaicos de silicio (Goswami, 2015) (Abtahi, 2017) (Springer, 2016)

Otra forma directa de convertir luz solar en electricidad es aprovechar la naturaleza de las ondas electromagnéticas de la luz solar en contra posición a la naturaleza cuántica utilizada en la energía fotovoltaica tradicional.

El costo inicial podría disuadir a las personas de invertir en sistemas fotovoltaicos. “La barrera más grande para la proliferación de la tecnología fotovoltaica es su costo inicial, y la reducción de este costo promoverá aún más su uso generalizado. Este obstáculo depende directamente del proceso de fabricación utilizado para crear las células solares y los componentes tecnológicos relacionados”. (Grant, 2010)

1.4.4 Celdas fotovoltaicas

Las celdas solares constan de varios materiales con diferentes estructuras para reducir el costo inicial y conseguir la máxima eficiencia eléctrica. Hay varios tipos de materiales de celdas solares:

- monocristal
- policristalino
- silicio amorfo
- material compuesto de película delgada.

Así como otras capas absorbentes de semiconductores, que proporcionan celdas solares de alta eficiencia eléctrica para aplicaciones especializadas. Las celdas de silicio cristalino (c-Si) son caras. Sin embargo, son los más populares debido a su fácil disponibilidad. Las celdas solares de película delgada de silicio amorfo son menos costosas. La capa de silicio amorfo se utiliza con hidrógeno y flúor incorporados en la estructura. Las aleaciones (a-Si: F: H) se producen por la descomposición debido a la descarga luminiscente de Si F₄ en presencia de hidrógeno. La eficiencia del módulo a-Si se encuentra entre el 6 y el 8%.

Las celdas solares de película delgada se pueden fabricar utilizando una variedad de semiconductores compuestos. Estos materiales compuestos incluyen:

- Cobre – seleniuro de indio (CuInSe₂),
- Sulfuro de cadmio (CdS)
- Teluro de cadmio (CdTe)
- Sulfuro de cobre (Cu₂S)
- Fosfato de indio (InP).

La estabilidad de la celda solar de seleniuro de indio y cobre (CuInSe₂) parece ser excelente. Las combinaciones de diferentes materiales de banda prohibida en las configuraciones en tándem conducen a generadores fotovoltaicos con mayores eficiencias. (Mayfield, 2010) (Xiao, 2017)

Las celdas solares multifuncionales pueden utilizar un espectro mucho más amplio de energía solar con mayor eficiencia. Las eficiencias generales de sistemas de paneles fotovoltaicos disponibles en el mercado en la actualidad se encuentran en el rango del 10-20% (Cota, 2010) (Mark, 2002)

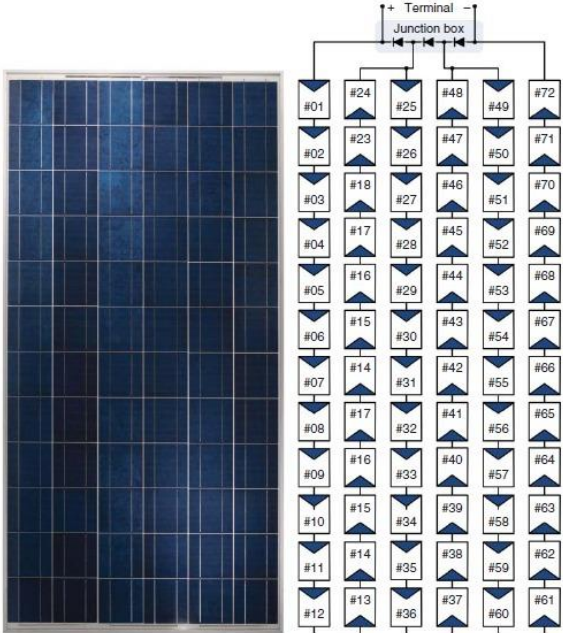


Figura 1.1. Modulo Fotovoltaico de 72 Celdas- Configuración Derecha (Xiao, 2017)

1.4.5 Equipos y elementos para instalaciones fotovoltaicas

En la figura 1.5 se muestra un esquema básico de las conexiones en un sistema fotovoltaico.



Figura 1.2. Elementos de una Instalación Fotovoltaica




1.4.5.1.1 Panel solar o módulo fotovoltaico

Este lo conforman un conjunto de células solares conectadas eléctricamente, encerradas y colocadas sobre una estructura de fijación. Estos proporcionan a la salida un valor de tensión continua DC y está diseñada para valores fijos de tensión (6V ,12V ,24 V...), estos definirán el voltaje al que funcionara el sistema fotovoltaico. Los diferentes tipos de paneles solares se caracterizan por la tecnología de sus células y en estos se caracterizan los siguientes:

- Silicio cristalino
 - Monocristalino
 - Policristalino
- Silicio amorfo

En la tabla 1.2 se muestra una descripción más a detalle sobre las características y rendimientos de los tipos de paneles solares según su tecnología de fabricación.

Tabla 1.1. Diferencia entre los tipos de paneles según su tecnología de fabricación (Rubio, 2015)

Células	Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo	Características	Fabricacion
	Monocristalino	24%	15 – 18 %	Son típicos los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre si	Se obtiene de Silicio puro fundido y dopado con boro
	Policristalino	19 - 20%	12 – 14 %	La superficie esta estructurad en cristales y contiene distintos tonos azules	Igual que el del monocristalino, ero se disminuye el numero de fases de cristalización.
	Amorfo	16 %	10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lamina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico

1.4.5.2 Regulador de carga

Este elemento del sistema permite la regulación de carga entre los paneles solares y el banco de baterías y su función principal es evitar situaciones de carga y sobre descarga en la batería para así aumentar la vida útil de la batería. Para un correcto dimensionamiento en una instalación solar se diseña para las peores condiciones de luminosidad del sol. Por esto los valores de irradiación que se toman como referencia para los cálculos son los de invierno. Esto provoca que en verano los módulos solares capturen mayor energía, por ende, si no se conectaran un regulador entre las baterías y los paneles podría generar un exceso de corriente que dañaría a las baterías.

1.4.5.3 Baterías

Estos son elementos acumuladores, capaces de convertir la energía química en eléctrica, estas se las utilizan en sistemas fotovoltaicos para poder almacenar energía y utilizarla en los momentos que los niveles de irradiación sean bajos y el sistema no sea capaz de funcionar autónomamente. Para dimensionar este elemento se debe tener en cuenta la capacidad la cual es la cantidad de electricidad que puede obtenerse en una descarga completa y este se mide en amperios hora (Ah).

En las tablas 1.3 y tabla 1.4 se describen más a detalle sobre los tipos de baterías comúnmente utilizadas en instalaciones fotovoltaicas, sus características de operación, ventajas y desventajas, así mismo el tipo de material del que se conforman y sus índices de precios en el mercado.

Tabla 1.2. Tipos De baterías Según el material (Rubio, 2015)

TIPO DE BATERIA	TENSION POR VASO (V)	TIEMPO DE CARGA	AUTODESCARGA POR MES	N DE CICLOS	CAPACIDAD (POR TAMAÑOS)	PRECIO
PLOMO-ACIDO	2	8-16 horas	< 5 %	Medio	30 -50 Wh/Kg	Bajo
NI-CD (NÍQUEL-CADMIO)	1.2	1 hora	20%	Elevado	50 -80 Wh/ Kg	Medio
NI-MH (NÍQUEL - METAL HYDRIDE)	1.2	2 - 4 horas	20%	Medio	60 -120 Wh/Kg	Medio
LI ION (ION LITIO)	3.6	2 - 4 horas	6 &	Medio bajo	110 -160 Wh/ kg	Alto

Tabla 1.3. Ventajas y desventajas de diferentes tipos de baterías usadas en instalaciones fotovoltaicas (Cumba, 2017) (Abtahi, 2017)

TIPO	VENTAJAS	INCONVENIENTES	ASPECTO
TUBULAR ESTACIONARIA	Ciclado Profundo Tiempos de vida largo Reserva de Sedimento	Precio Elevado Disponibilidad escasa en determinados lugares	
ARRANQUE (SLI, AUTOMÓVIL)	Precio Disponibilidad	Mal Funcionamiento ante ciclado profundo y bajas corrientes Escasa reservas de electrolito	
SOLAR	Fabricación Similar a SLI Amplia Reserva de Electrolito Buen Funcionamiento en Ciclados Medios	Tiempos de vida medio No recomendada para ciclados profundos y prolongados	
Gel	Escasos mantenimiento	Deterioro rápido en condiciones de funcionamiento extremas de voltaje y corriente	

1.4.5.4 Inversor

Es el elemento que cumple la función de convertir la corriente directa de la instalación en corriente alterna para que pueda ser utilizado en la red eléctrica y los equipos y cargas del sistema, puede ser salida de 220 V 50 Hz o 110 V y 50Hz.

Las características que se esperan en un inversor DC-AC son las siguientes:

- Alta eficiencia, Trabaja en un amplio rango de potencias
- Bajo consumo en vacío
- Alta Confiabilidad
- Soporta Arranques picos
- Defensa contra cortocircuitos
- Solides
- Buenas regulaciones de Voltaje y frecuencia a la salida

Existen diferentes tipos de inversores que a su vez funcionan como reguladores de carga para las baterías, dado eso no sería necesario utilizar un regulador dentro de la instalación (Springer, 2016)



Figura 1.3. Inversor de corriente 2000 W

1.5 Tipos de conexiones en sistemas fotovoltaicos

1.5.1 Sistemas conectados a la red

Se considera a este tipo de sistemas cuando se sitúan en lugares donde la conexión a la red eléctrica es factible. Estas instalaciones permiten cubrir la demanda energética por medio de la red eléctrica cuando la regeneración fotovoltaica es baja o nula. Así mismo, cuando se genera un excedente de energía permite aportar dichos valores a la red eléctrica interconectada (Mayfield, 2010).

Los componentes principales para este tipo de instalaciones son: panel fotovoltaico, contador ¹(medidor), inversor, regulador de carga.

1.5.2 Sistemas aislados

Es un tipo de instalación fotovoltaica utilizada en lugares alejados, donde el acceso a la red eléctrica es nulo. Comúnmente este tipo de instalaciones se encuentran en sectores rurales, equipos de comunicación, equipos de señalización, equipos de bombeo, iluminación en zonas aisladas, etc. (Naranjo, 2014)

Dentro del diseño de este tipo de sistemas se incluyen paneles fotovoltaicos, inversores de corriente, regulador de voltaje, banco de baterías.

¹ Este dispositivo permite contabilizar la energía suministrada a la red eléctrica y la energía producida por el sistema fotovoltaico.

El objetivo principal de este tipo de instalaciones es satisfacer toda o la gran parte de la demanda energética.

A este tipo de instalaciones se puede sumar la energía producida por otro tipo de fuentes (eólica, biomasa, térmica, etc.) (Naranjo, 2014).

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Procesos de diseño

Una vez definido el problema y las necesidades energéticas de la comunidad de la isla bellavista, se plantea el siguiente flujograma indicado en la figura 2.1, a fin de encontrar la solución óptima para el problema planteado.



Figura 2.1. Flujograma del diseño de generación eléctrica isla bellavista

2.2 Localización geográfica del Proyecto

En las coordenadas ($2^{\circ} 28.5' S$, $79^{\circ} 56.5' O$) situadas en el Golfo de Guayaquil se encuentra la comuna de la isla bellavista, cuenta con un área aproximada de 10000 m² y tiene una población de 136 personas que habitan en 29 casas distribuidas en la zona, como se muestra en la figura 2.3. debido al aislamiento y lejanía con la ciudad más cercana es complicado el acceso de la red eléctrica interconectada, los servicios de agua potable y alcantarillado.

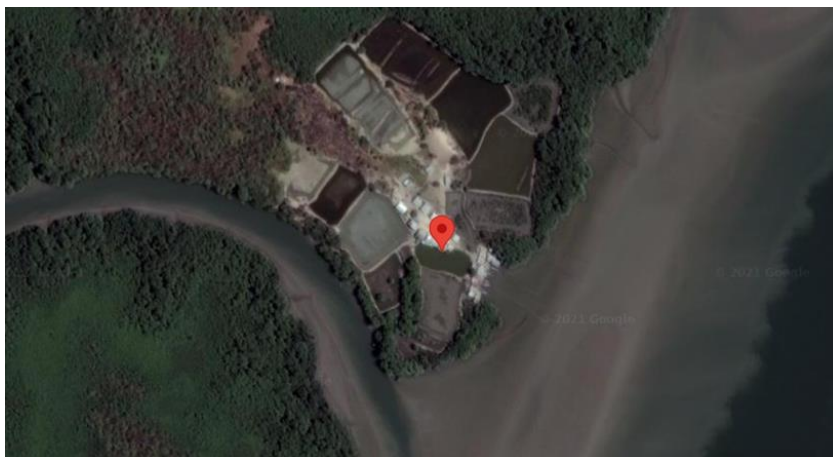


Figura 2.2. Imagen Satelital de la comunidad en la isla bellavista (Fuente: Google Maps)

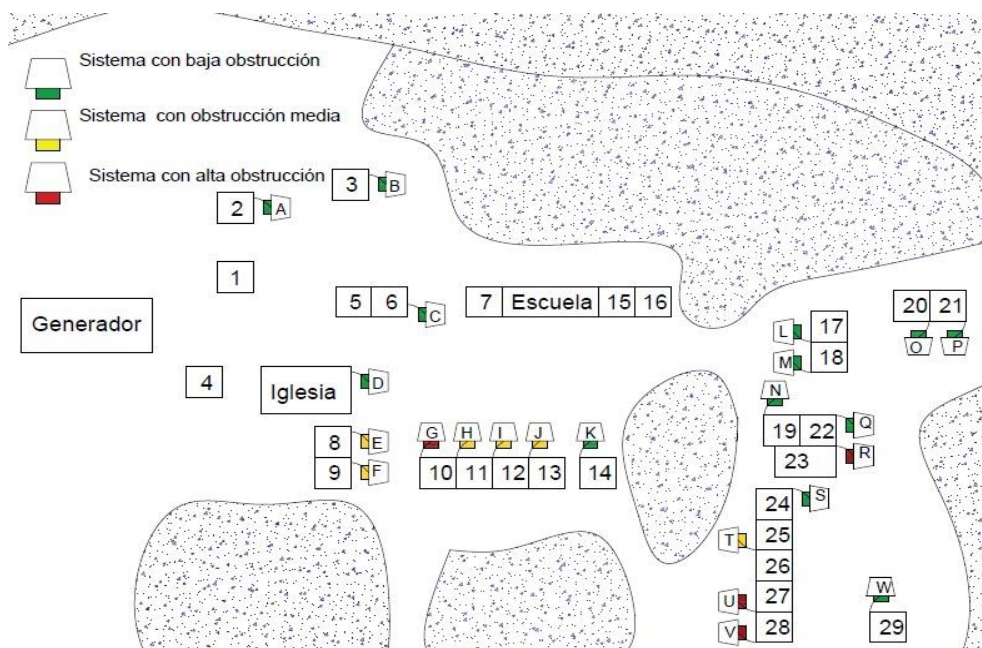


Figura 2.3. Disposición de la infraestructura localizada en la comuna. (Peralta, 2019)

Como se indica en la figura 2.3 las viviendas cuentan con paneles solares, pero estos no operan en su totalidad debido a la falta de mantenimiento y orientación de los equipos instalados, así mismo existe un generador eléctrico a Diesel que abastece a la comunidad por el lapso de 5 horas de funcionamiento diario. (Peralta, 2019)

2.3 Información Meteorológica de la Zona

2.3.1 Datos de Temperatura – Precipitación - Humedad

Como se muestra en la figura 2.4 el promedio anual de temperatura en la zona del golfo de Guayaquil ronda los 24.5 °C a 25.2 °C, estos datos fueron tomados de las diferentes estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y del Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador (INOCAR).

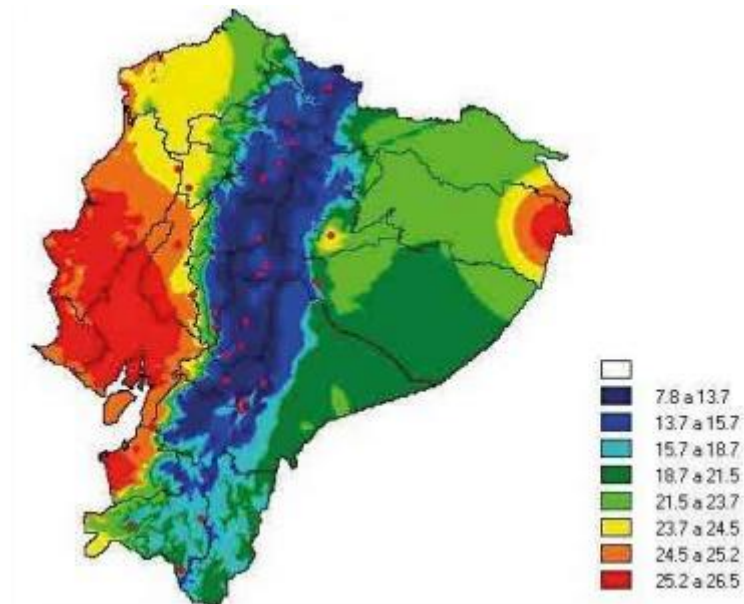


Figura 2.4. Mapa de temperaturas (°C) medias anuales en Ecuador (Farfan, 2018)

Así mismo en la figura 2.5 se detalla los promedios mensuales y temperaturas en la zona de la isla bellavista teniendo como valor máximo en el mes de diciembre con 24.650 °C y valor mínimo el mes de febrero con 24.18 °C. Esta información fue tomada

de las imágenes satelitales de la Administración nacional de Aeronáutica y del espacio (NASA).

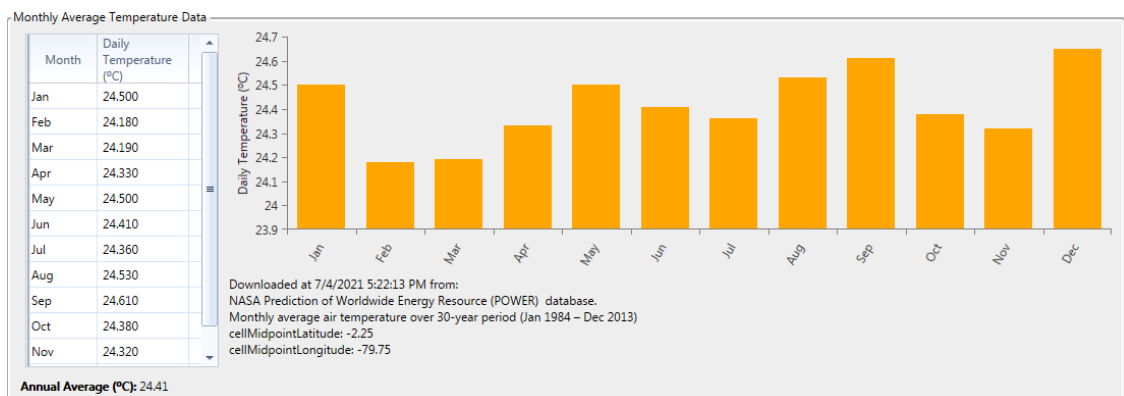


Figura 2.5. Promedios mensuales de temperatura en la zona (Fuente: NASA)

En la figura 2.6 se visualiza que en la zona del golfo de Guayaquil hay un promedio anual de precipitaciones entre 1100 a 1900 mm de agua, teniendo marzo y abril como meses donde estos valores alcanzan sus máximos debido a la etapa invernal.

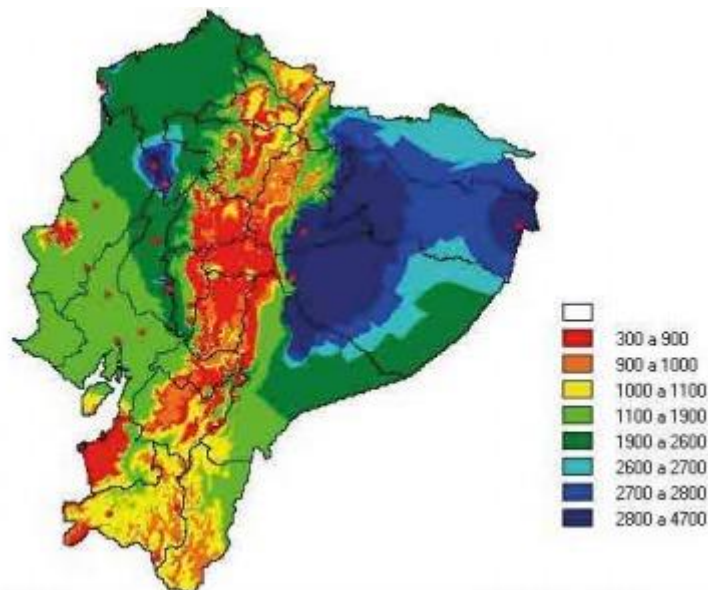


Figura 2.6 Mapa de precipitaciones (mm) media anual (Farfan, 2018)

Los valores de humedad relativa media anual que se registran en las zonas del golfo de Guayaquil son de 74.3 a 80.2 % según indica la figura 2.7 tomada de los datos meteorológicos del INAMHI e INOCAR.

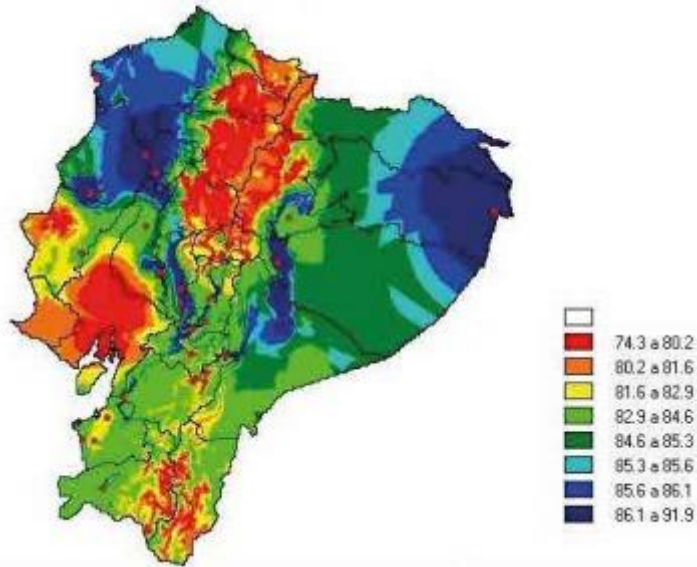


Figura 2.7 Mapa de humedad relativa (%) media anual (Farfan, 2018)

2.3.2 Datos de Viento

Según datos tomados en diferentes estaciones meteorológicas ubicadas en puntos estratégicos de la costa ecuatoriana, se tiene valores promedio anual entre 5.2 a 6.1 m/s para la velocidad del viento frecuencia ESTE en la zona del Golfo de Guayaquil, como se muestra en la figura 2.8.

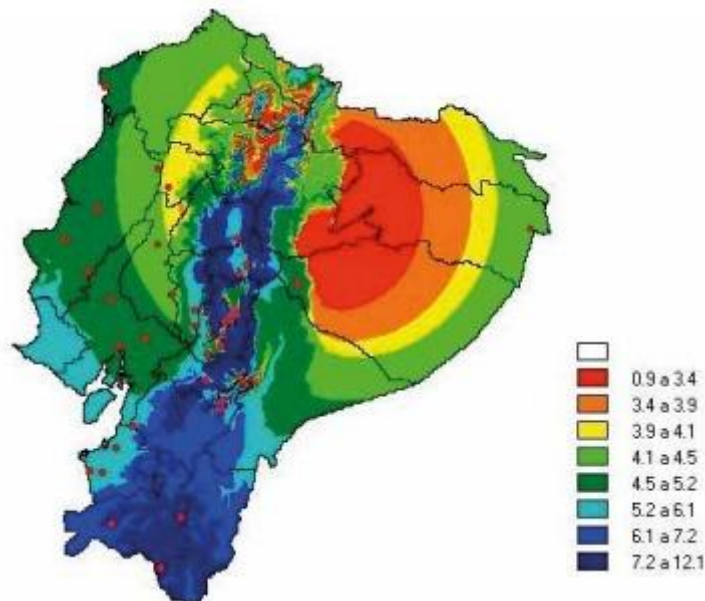


Figura 2.8 Mapa de viento (Frecuencia Este m/s) media anual (Farfan, 2018)

A continuación, podemos visualizar en la figura 2.9 que los valores de viento mensuales en la zona de la isla Bellavista se mantienen casi siempre constantes a lo largo de todos los meses del año, esto tomado de datos satelitales de las predicciones de la NASA.

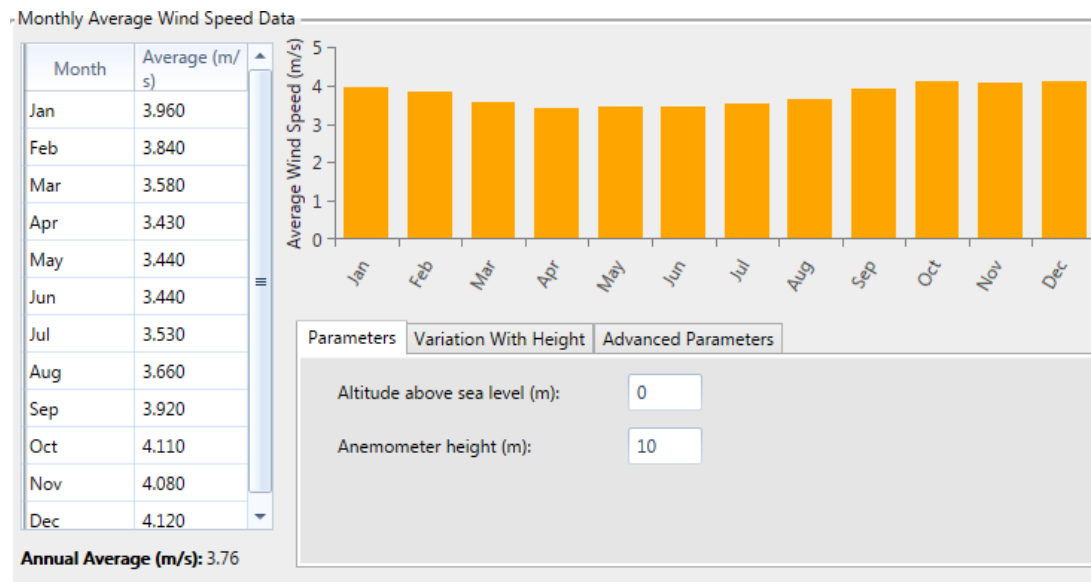


Figura 2.9 Promedio mensuales de viento en la zona (Fuente: NASA)

2.3.3 Datos de Radiación e Irradiación

Para el correcto estudio y dimensionamiento de un sistema fotovoltaico se debe tener en cuenta los siguientes parámetros mostrados en la figura 2.10.

Radiación difusa: se considera al efecto que se origina cuando la radiación solar alcanza la superficie de la atmosfera terrestre y esta se dispersa con relación a la dirección original debido a las moléculas en la atmosfera (Goswami, 2015)

Radiación directa: esta se considera cuando llega directamente del sol sin tener cambios en su dirección (Goswami, 2015)

Radiación global horizontal: se define a esta como la radiación solar que incide sobre una superficie horizontal y es la suma de la radiación directa y difusa (Goswami, 2015).

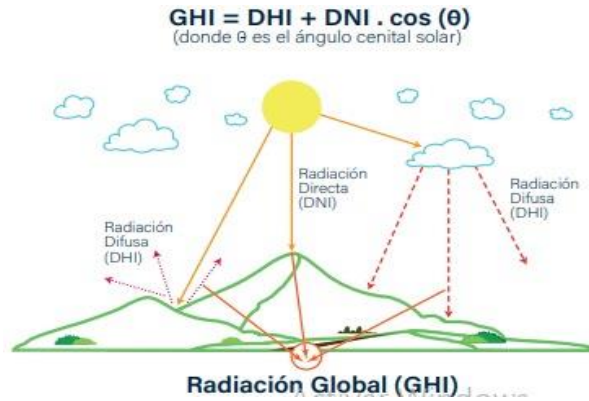


Figura 2.10. Tipos de Radiación e Irradiación Solar (Ordoñez, 2019)

En la figura 2.11 tomada de los datos del mapa solar del Ecuador se observa que en la zona del Golfo de Guayaquil los valores de irradiación solar global horizontal anual son de $4.8 \frac{kW \cdot h}{m^2 \cdot día}$.

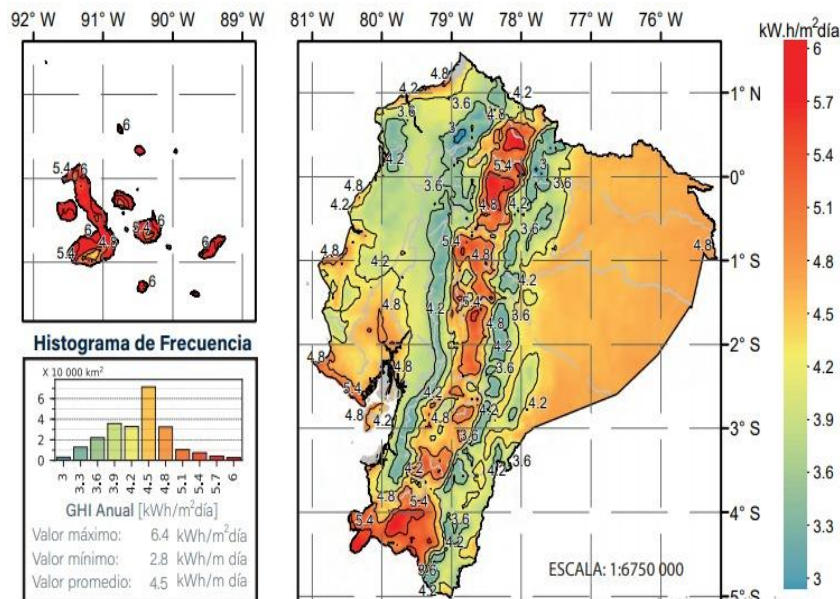


Figura 2.11. Irradiación Solar Global Horizontal (GHI Anual) (Ordoñez, 2019)

A su vez según datos de la NASA se tiene que los valores mensuales máximos en la zona de la isla Bellavista son en promedio de $4.590 \frac{kW \cdot h}{m^2 \cdot día}$ que ocurren en el mes de marzo y los valores mínimos mensuales son en el mes de julio con un valor promedio de $4.010 \frac{kW \cdot h}{m^2 \cdot día}$, como se observa en la figura 2.12.

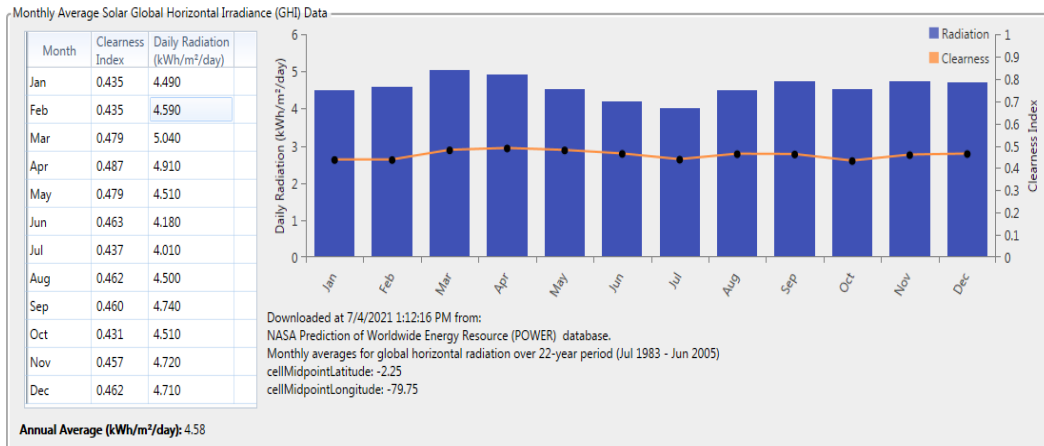


Figura 2.12 Promedio mensual de irradiación en la zona (Fuente: NASA)

2.4 Datos relevantes para la simulación.

2.4.1 Consumo eléctrico en una vivienda.

En la tabla 2.1 se observa que el consumo diario en una vivienda pequeña de 5 personas es de 9.89 kWh. Se toma en cuenta que los equipos que más consumen energía en una vivienda son: aire acondicionado, refrigerador, focos LED (iluminación) y bomba de agua.

Todos estos datos fueron determinados utilizando la referencia obtenida del estudio realizado previamente por los estudiantes de la carrera de ingeniería mecánica y presentada en el artículo “Evaluación de la sostenibilidad energética de la isla Bellavista en el Golfo de Guayaquil” (Peralta, 2019), se tienen los datos presentados en la tabla 2.1

Tabla 2.1: Consumos eléctricos de una vivienda pequeña (elaboración propia)

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	POTENCIA [W]	HORAS DE FUNCIONAMIENTO [h/día]	CONSUMO [Wh/día]
Focos LED	5	20	4.5	450
Refrigerador	1	200	12	2400
Televisor	1	100	3	300
Licuada	1	300	0.1	30
Equipo de	1	14	3	42

Sonido				
Cargador Celular	1	12	3	36
Computadora	1	90	5	450
Ventilador	1	57	7	399
Total, consumo diario [kWh/día]				4.107
Total, consumo Mensual [kWh/mes]				123.21
Total, consumo anual [kWh/Año]				1499.055

2.4.2 Ecuaciones representativas para el dimensionamiento.

Se presentan las ecuaciones 2.1- 2.12 para realizar los cálculos para el dimensionamiento y selección de los equipos a utilizar en el sistema fotovoltaico aislado.

$$Nt = \frac{L_{mdcrit}}{P_{MPP} * HPS_{crit} * PR} \quad (2.1)$$

Número total de módulos solares necesarios (Cota, 2010).

Donde:

Nt: Número total de paneles fotovoltaicos.

L_{mdcrit}: Consumo promedio diario crítico [Wh]

P_{MPP}: Potencia pico del módulo fotovoltaico [W].

HPS_{crit}: Horas de sol pico para el mes crítico [h].

PR: Factor global de funcionamiento.

Las ecuaciones 2.2- 2.12 siguen el procedimiento de selección y dimensionamiento del manual "Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos autónomos" (Jorge Aguilera, 2018)

$$Ns = \frac{V_{Bat}}{v_m} \quad (2.2)$$

Número de paneles en serie.

Donde:

Ns: número de módulos en serie por rama.

V_{Bat} : voltaje nominal de batería (V)

v_m : voltaje nominal de los módulos (V)

$$Np = \frac{Nt}{Ns} \quad (2.3)$$

Número de paneles en paralelo.

Donde:

Np: número de módulos a conectar en ramas paralelas.

Nt: número total de paneles

$$C_n(Wh) = \frac{E_t * N}{P_d} \quad (2.4)$$

Capacidad de las baterías (Wh)

$$C_n(Ah) = \frac{C_n(Wh)}{V_{bat}} \quad (2.5)$$

Capacidad nominal de la batería (Ah)

Donde:

C_n : Capacidad nominal de la batería (Wh o Ah)

E_t : Energía total requerida (W)

P_d : Profundidad máxima de descarga de la batería

V_{bat} : Voltaje nominal de la batería (V)

$$I_G = I_R * N_R \quad (2.6)$$

Intensidad de corriente producida por el generador

$$I_R = \frac{P_P * \eta_M}{V_M} \quad (2.7)$$

Corriente producida por las ramas en paralelo

Donde:

I_G : Corriente producida por el generador [A]

I_R : Corriente producida por cada rama en paralelo del generador [A]

N_R : Numero de ramas en paralelo

P_P : Potencia pico del panel fotovoltaico [W]

η_M : Eficiencia del panel fotovoltaico

V_M : Voltaje nominal de los paneles [V]

$$I_C = \frac{P_{DC}}{V_{bat}} + \frac{P_{AC}}{220} \quad (2.8)$$

Corriente de las cargas

Donde:

I_C : Corriente de las cargas [A]

P_{DC} : Potencia de las cargas en DC [W]

V_{bat} : Voltaje de la batería [V]

P_{AC} : Potencia de las cargas en AC [W]

$$I_R = MAX(I_C I_G) \quad (2.9)$$

Corriente para el dimensionamiento de las baterías

$$P_{inv} \approx P_{AC} \quad (2.10)$$

Potencia del Inversor [W]

$$P_{PC} = I^2 * R_C \quad (2.11)$$

Potencia Perdida en los conductores

$$R_C = \frac{\rho * L}{S}$$

(2.12)

Resistencia óhmica de los conductores

Donde:

P_{PC} : Potencia pérdida en los conductores [W]

I : Corriente en los conductores [A]

R_C : Resistencia óhmica de los conductores [Ω]

ρ : Resistividad del conductor [$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$]

L : Longitud de los conductores [m]

S : Sección de los conductores [mm^2]

2.4.3 Proceso para el dimensionamiento y selección de los equipos

A continuación, se presenta la secuencia de pasos que se realizó para obtener un correcto y óptimo dimensionamiento de los equipos que se seleccionarán para el sistema de generación fotovoltaica para una comunidad aislada en la Isla Bellavista del Golfo de Guayaquil.

1. Realizar un listado de las cargas asociadas al consumo de energía dentro de una vivienda rural, tomando en cuenta las horas de uso y la cantidad de equipos. (Ver Tabla 2.1)
2. Estimar el número de paneles fotovoltaicos que se utilizaran en el sistema, para esto se procede a utilizar la ecuación 1.
3. Calcular el arreglo de paneles solares de acuerdo con el requerimiento del diseño, para esto se utilizan las ecuaciones 2 y 3.
4. Dimensionar el sistema de almacenamiento de la energía (Baterías), para esta parte se utilizan las ecuaciones 4 y 5 para la capacidad nominal de la batería y las ecuaciones 6,7,8 y 9 para dimensionar la corriente nominal.
5. Seleccionar el tipo y modelo de Inversor DC-AC, para ello se utiliza la ecuación 10, en ciertos casos el inversor suele traer integrado un regulador de carga, si es así no se necesitaría dimensionarlo, caso contrario se seleccionaría uno que cumpla con los requerimientos de corriente y capacidad nominal de las baterías.

6. Cálculo de las pérdidas eléctricas por las conexiones, para esto se utiliza la ecuación 11 y 12.

2.4.4 Orientación y dirección para el arreglo de paneles fotovoltaicos

Al momento de diseñar un sistema de generación fotovoltaica es de suma importancia tener en cuenta la forma como se ubicarán los paneles. Para esto se debe considerar: el área que ocuparan dichos paneles, los efectos de la sombra y la localización geográfica de la zona donde se instalará el sistema.

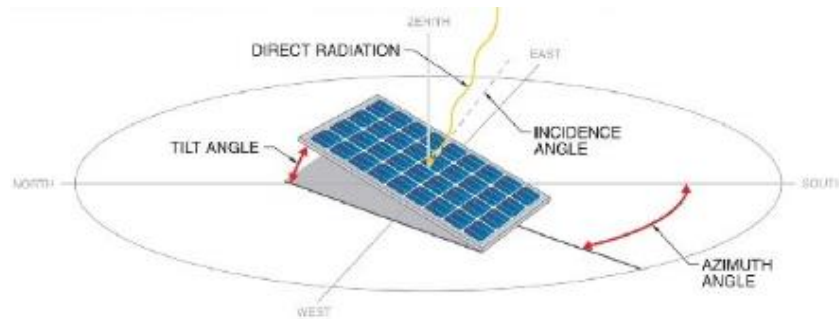


Figura 2.13: Orientación y Dirección para los paneles fotovoltaicos. (Commission, 2001)

En la figura 2.13 se muestran los diferentes ángulos que se deben tener en cuenta al instalar los paneles fotovoltaicos para lograr obtener la mayor cantidad de radiación incidente sobre los paneles y así producir mayor energía.

Los ángulos de inclinación de los paneles y los ángulos azimut, estos son los que se utilizan para realizar una correcta instalación de los arreglos.

Para el diseño de este sistema de generación fotovoltaica se utilizaron varios criterios para seleccionar los ángulos, a continuación, se presentan:

Tabla 2.2: Especificaciones de diseño para el sistema según el NREL. (Laboratry, 2021)

Location and Station Identification	
Requested Location	090104
Weather Data Source	Lat, Lon: -2.19, -79.94 1.0 mi
Latitude	2.19° S
Longitude	79.94° W
PV System Specifications (Residential)	
DC System Size	4 kW
Module Type	Standard
Array Type	Fixed (open rack)
Array Tilt	20°
Array Azimuth	180°
System Losses	14.08%
Inverter Efficiency	96%
DC to AC Size Ratio	1.2

En la tabla 2.2 se presentan las especificaciones del sistema fotovoltaico que sugiere para el diseño el Laboratorio Nacional de Energías Renovables de los EE. UU. (NREL por sus siglas en Inglés). Estos datos se obtuvieron utilizando la calculadora que tiene la página web (<https://pvwatts.nrel.gov/pvwatts.php>) donde se introduce como datos para el análisis la localización geográfica (Código Postal del sitio 090104) y los costos de un kWh de energía en el sector.

Con esto se llegó a que el arreglo de paneles fotovoltaicos sea instalado con una inclinación de 20 grados con respecto a la horizontal y a 180 grados azimut en dirección Sur.

2.5 Herramientas de simulación

Para este proyecto se utilizó como herramienta principal para el diseño del sistema fotovoltaico el software HomerPRO Microgrid Analysis Tool.

HomerPro es un software desarrollado en el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL por sus siglas en inglés), mejorado y distribuido por Homer Energy (modelo de optimización híbrida para recursos energéticos múltiples). Este engloba herramientas de ingeniería y economía para que trabajen en conjunto.

HomerPro simula la operación de una micro red híbrida durante un intervalo de tiempo, a su vez que simula cientos o incluso miles de sistemas.

Este software permite hacer análisis de sensibilidad y comparar miles de posibilidades en una sola ejecución. De esta misma manera permite identificar diferentes variables como velocidad de viento, costos de combustible, etc. Además, permite analizar como varía el sistema y optimizarlos.

Este software cuenta con más de 250,000 usuarios en 193 países. Es considerado el líder en optimización y viabilidad para el diseño de micro redes híbridas.

Además, el software HomerPro brinda una versión de prueba gratuita por 21 días, y con la suscripción de prueba un paquete de videos tutoriales y artículos gratuitos que sirven como guía para la elaboración y análisis de proyectos.

2.5.1 Proceso de simulación en HommerPRO

Se presenta la secuencia de pasos que se utilizó para realizar las diferentes simulaciones en el software HommerPRO.

1. Escribir el nombre, autores y breve descripción del proyecto.
2. Establecer las coordenadas geográficas donde se instalará el sistema.
3. Elegir si es conectado o no a la red eléctrica.
4. Elegir los datos de recursos energéticos a utilizar (Solar GHI Resource , wind Resource, Fuels)
5. Para cada recurso energético escogido establecer los parámetros, índices y valores.
6. Establecer el valor de las cargas eléctricas del sistema.
7. Elegir los componentes que conformaran el sistema de generación híbrida. (Paneles Fotovoltaicos, Generadores Eléctricos, Turbinas Eólicas, Baterías, Inversores, Controladores)
8. Si es que hubiere alguna restricción para el diseño establecerla en la pestaña Project.
9. Dar clic en el botón Calculate
10. Para visualizar los datos de la simulación ir a la pestaña Results.

2.5.2 Simulación en HommerPRO

Una vez realizado el proceso visto en el punto 2.5.1, se procede a realizar el análisis y visualización de los resultados obtenidos.

HommerPRO nos permite realizar comparaciones de las posibles combinaciones de arreglos y así poder seleccionar la opción óptima para el diseño.

Para el diseño se consideraron dos posibles casos:

- Sistema centralizado (todas las edificaciones)
- Sistema Individual (Una sola edificación)

A continuación, se presenta los análisis representativos de las simulaciones.

- Análisis Económico (Ver apéndice B y apéndice F)
 - Resumen de costos
 - Flujo de caja
 - Comparación Económica
- Generación Eléctrica (Ver apéndice C y apéndice G)
- Gastos y consumo de Combustibles (Ver apéndice C y G)
- Análisis ambiental (Ver apéndice D y H)
 - Emisiones
 - Penetración Renovable
- Análisis de cada elemento del sistema (Ver apéndice C y G)
 - Generador Eléctrico
 - Paneles fotovoltaicos
 - Inversor
 - Baterías

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se plantean 4 escenarios, para los cuales se realizó su respectivo análisis siguiendo los criterios técnicos, económicos y ambientales, estos se presentan en las secciones 3.2 , 3.3 y 3.4.

En cada escenario se consideró situaciones en particular que serán descritas para así tener un mejor entendimiento del análisis realizado.

A continuación, se muestran los resultados de los cálculos teóricos realizados para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico aislado.

3.1 Resultados cálculos teóricos

Siguiendo el procedimiento planteado en el capítulo 2 se realizaron los cálculos teóricos para la selección y dimensionamiento de los equipos e implementos a utilizar en el rediseño del sistema de energización de la comunidad. Teniendo como resultados más relevantes:

- Cantidad y características de los paneles fotovoltaicos.
- Cantidad y características de las baterías.
- Cantidad y características de los inversores.

Dado los requerimientos para el diseño y las existencias en el mercado nacional, se seleccionaron los paneles fotovoltaicos con una potencia pico de 110 W y las características descritas en la tabla 3.6,dando como resultado que para el caso individual se requieren 2 paneles y para el caso centralizado 40 paneles.

Tabla 3.6: Cálculo del número de paneles

CALCULO # DE PANELES		CASO INDIVIDUAL	CASO CENTRALIZADO
Variables	Unidades	Datos	Datos
Área Paneles	m ²	0.750	0.750
Potencia pico paneles	kW	0.110	0.110
Eficiencia paneles	%	14.660	14.660
Radiación incidente	kWh/m ² *día	4.010	4.010
Voltaje	V	12.000	12.000
Numero de edificaciones	=====	1	29
Potencia requerida	kWh/día	4.110	119.190
Área requerida de paneles	=====	1.025	29.723
Número de paneles necesarios	=====	1.366	39.610
Total, de paneles	=====	2	40

Siguiendo los pasos para el diseño de un sistema fotovoltaico aislado, tenemos el cálculo del número de baterías para lo cual se tomó en cuenta las variables presentadas en la tabla 3.7 dando como resultado para asegurar un mínimo de 3 días de autonomía, se requieren 2 baterías de gel de 12 V y 80 Ah conectadas en paralelo para el caso individual y 58 baterías de las mismas características para el caso centralizado. Se debe tener en cuenta que la selección de las baterías se hizo tomando en cuenta la existencia en el mercado local.

Tabla 3.7 Cálculo para el número de baterías.

CALCULOS BATERIAS		CASO INDIVIDUAL	CASO CENTRALIZADO
Variables	Unidades	Datos	Datos
Días de autonomía	Días	3	3
Profundidad de descarga máxima	%	70	70
Tensión de trabajo	V	12	12
Tensión de la batería	V	12	12
Número de baterías en serie		1	1
Potencia requerida	kWh/día	4.11	119.19
Capacidad de acumulación batería	Ah/día	0.3425	9.9325
Capacidad de descarga continuada 100horas	Ah	13.46	390.21

3.2 Escenario 1 (Simulación individual)

Dentro de este escenario se planteó como alternativa para el rediseño, un sistema de generación fotovoltaica aislado para cada una de las edificaciones de la comunidad, este fue simulado en el software HomerPro. Aquí se consideró la utilización de equipos nuevos en su totalidad.

Los equipos utilizados en la simulación fueron seleccionados de acuerdo con los parámetros, restricciones del diseño y disponibilidad del mercado nacional.

En la siguiente tabla 3.1 se enlistan los equipos que se consideraron para las simulaciones de este caso.

Tabla 3.1: Elementos utilizados para las simulaciones

Componente	Modelo	Cantidad
Generador eléctrico Diesel	Caterpillar 45 kVA	1
Paneles fotovoltaicos	Tata Power Solar 140 TP	3
Inversor	Sunpower	1
Baterías	Surette S- 260	3
Generador eólico	Generic 1kW	1

Para la selección de estos equipos se realizaron los cálculos correspondientes utilizando las ecuaciones y procedimientos descritos en el capítulo 2 Metodología.

Considerando la potencia diaria que requiere una sola vivienda para el caso crítico es de 4.11 kWh/Día con este requerimiento se obtuvo que el modelo óptimo propuesto es solamente generación fotovoltaica, dado que el sistema satisface las demandas energéticas en un 100%.

En el apéndice A se muestra un resumen y comparaciones de los escenarios analizados, identificándose que el caso base planteado (solo generador eléctrico) es menos rentable desde el punto de vista económico y ambiental.

Tabla 3.2: Resultados análisis económico para el escenario 1 (caso individual).

Parámetros de análisis	Valor
Tasa Interna de Retorno	107%
Retorno sobre la inversión	104%
Pago simple	1.1 años
Valor presente	\$ 2557.00
Capital Inicial	\$ 1071.00
Costos de Operación y Mantenimiento	\$ 114.97 / año
Costo de la energía	\$ 0.132 / kWh

Fracción de energía Renovable	100%
-------------------------------	------

En la tabla 3.2 se muestra que el diseño propuesto de solo generación fotovoltaica tiene un bajo costo de operación y de la energía considerando el caso hipotético en que la comunidad estuviera conectada a la red eléctrica, la tarifa actual del sistema interconectado el kWh ronda los \$ 0.22 ya incluido el valor de comercialización (Según datos de la Corporación Nacional de electricidad) es decir existe una diferencia de \$ 0.088 lo que representa el 66.7% menos en el costo de la electricidad.

Así mismo tiene una tasa interna de retorno del 107% (Considerando la comparación entre el costo de la electricidad interconectada), es decir el proyecto tiene una alta rentabilidad. El valor para la inversión inicial es de \$ 1071.00 esto solo tomando en cuenta los costos de equipos.

Tomando en cuenta la parte ambiental la fracción de energía renovable es del 100% es decir toda la energía producida es limpia y libre de generación de gases de efecto invernadero como se observa en el apéndice 2D.

Como se observa en el apéndice 1C la producción de energía incluso excede lo necesario para el caso planteado, es decir que si en caso de que en la vivienda existiera un incremento de las cargas eléctricas este pudiera seguir operando y satisfaciendo las necesidades. Así mismo en el apéndice 2C se observa que el sistema de almacenamiento de energía satisface los requerimientos del diseño y tiene 32.8 horas de autonomía con un costo de \$0.144 /kWh.

Para los paneles fotovoltaicos se tiene que generan en promedio 5984 kWh/año con 4409 horas de operación anual, teniendo como máxima potencia a la salida 3.91kWh en la hora de sol pico. Observando el apéndice 3C en promedio dada la gráfica entre las 11:00 a 16:00 se tiene la más alta generación eléctrica con los paneles fotovoltaicos.

Observando el apéndice 4C tenemos que el inversor seleccionado tiene 8760 horas de operación al año y energía a la salida de 1499 kWh/año con 78.9k kWh/año de perdidas lo que representa el 5 % del total de energía en la entrada al inversor.

3.3 Escenario 2 (Simulación centralizado)

Para este diseño se tomó en cuenta el número total de edificaciones en la zona (29 edificaciones) y se asumió que tienen igual cantidad de carga eléctrica producida por lo que se tomó como dato para las simulaciones el valor de 119.2 kWh/Día de potencia requerida.

En este escenario se consideró la utilización del 100% de los equipos nuevos.

Así mismo todos los equipos utilizados en la simulación fueron seleccionados de acuerdo con los parámetros, restricciones del diseño y disponibilidad del mercado nacional.

En la siguiente tabla 3.3 se enlistan los equipos que se consideraron para las simulaciones de este caso.

Tabla 3.3: Elementos utilizados para las simulaciones

Componente	Modelo	Cantidad
Generador eléctrico Diesel	Caterpillar 45 kVA	1
Paneles fotovoltaicos	Tata Power Solar 140 TP	65
Inversor	Siemens SINVERT PVM24 UL	1
Baterías	Surrette S- 260	44
Generador eólico	Generic 1kW	1

Para la selección de estos equipos se realizaron los cálculos correspondientes utilizando las ecuaciones y procedimientos descritos en el capítulo 2 Metodología.

A continuación, se presenta una descripción de los resultados obtenidos en la simulación.

Tomando en cuenta la potencia diaria que requiere las 29 edificaciones para el caso base fue de 119.2 kWh/Día con este requerimiento se obtuvo que el modelo más óptimo propuesto es un sistema híbrido de generación Fotovoltaica y por generador

eléctrico Diesel con esto se logra satisfacer las demandas energéticas en un 100% y con un menor costo por kWh.

En el apéndice E se muestra un resumen y comparaciones de los posibles casos que se simuló, teniendo así que el caso base planteado (solo generador eléctrico) es menos rentable desde el punto de vista económico y ambiental.

En la tabla 3.4 se muestra que el diseño propuesto de generación híbrida (fotovoltaica – Diesel) tiene un costo de operación considerable en los cálculos económicos, ya que para este caso se necesita como materia prima el combustible Diesel que tiene un costo por litro de \$ 0.41 a la fecha que se realizó el análisis (Según datos de la Agencia de regulación y control Hidrocarburífera).

El costo de la energía producida por este sistema es de \$ 0.21/kWh que realizando una comparación con el caso hipotético que la comunidad se encontrara conectada a la red eléctrica la tarifa actual de la electricidad interconectada ronda los \$ 0.22 el kWh (datos tomados de la Corporación nacional de Electricidad con la tarifa establecida para el año 2020-2021) incluido el valor de comercialización, por ende entre ambos valores existe una diferencia de \$ 0.01 lo que representa el 4.5% menos en la tarifa eléctrica.

Tabla 3.4: Resultados análisis económico para el caso centralizado.

Parámetros de análisis	Valor
Tasa Interna de Retorno	47%
Retorno sobre la inversión	43%
Pago simple	2.0 años
Valor presente	\$ 115675.00
Capital Inicial	\$ 51317.00
Costos de Operación y Mantenimiento	\$ 4978 / año
Costo de la energía	\$ 0.21 / kWh
Fracción de energía Renovable	82.6%

Teniendo en cuenta la parte económica para este escenario, se obtuvo una tasa interna de retorno del 47% es decir el proyecto tiene una rentabilidad media tomando en cuenta el coste de oportunidad, a su vez el valor para la inversión inicial es de \$ 51317.00 esto solo tomando en cuenta los costos de equipos, con lo que se obtiene un retorno de la inversión del 43%.

Considerando la parte ambiental, la fracción de energía renovable que genera este sistema es del 82.6% dado que no toda la energía producida es limpia y libre de generación de gases de efecto invernadero, en este caso por el uso de combustibles fósiles se tienen emisiones de gases que se muestran en el apéndice 2H.

Como se observa en el apéndice 1G la producción de energía incluso excede lo necesario para el caso planteado, es decir que, si en caso de que las viviendas tuvieran un incremento de las cargas eléctricas de hasta el 20%, este sistema puede seguir operando y satisfaciendo las necesidades. Así mismo en el apéndice 4G se observa que el sistema de almacenamiento de energía satisface los requerimientos del diseño y tiene 17.0 horas de autonomía con un costo de \$0.144 /kWh.

Para los paneles fotovoltaicos se tiene que generan en promedio 148165 kWh/año con 4409 horas de operación anual, teniendo como máxima potencia a la salida 96.8 kWh en la hora de sol pico. Observando el apéndice 5G en promedio dada la gráfica entre las 11:00 a 16:00 se tiene la más alta generación eléctrica con los paneles fotovoltaicos.

Observando el apéndice 6G tenemos que el inversor seleccionado tiene 8191 horas de operación al año y energía a la salida de 34726 kWh/año con 709k kWh/año de pérdidas lo que representa el 2 % del total de energía que entra al inversor.

Analizando el consumo de combustible que tiene el generador eléctrico a Diesel en el apéndice 2G tenemos que el promedio de consumo diario es 7.55 litros/día y el total de litros que se consume al año es de 2757. Las horas en donde se pondría en funcionamiento el generador son desde las 18:30 hasta las 20:30 donde existe una mayor demanda de energía.

Observando el apéndice 3G tenemos como resultados importantes el total de horas de operación del generador 677 horas/año y la cantidad de energía eléctrica producida que es 7836 kWh/año.

Es importante aclarar que para este caso se tomó en cuenta que el Generador Eléctrico es nuevo y será parte de la inversión inicial por esa razón los valores de capital inicial, tasa interna de retorno y el valor presente son muy elevados.

A continuación, se presenta la tabla 3.5 de comparación entre los dos escenarios simulados teniendo en cuenta las variables más importantes en el análisis:

Tabla 3.5: Tabla de comparación de variables para ambos casos simulados

Variables	Unidades	Caso Individual	Caso Centralizado
Tasa Interna de Retorno	%	107	47
Retorno sobre la inversión	%	104	43
Pago Simple	años	1.1	2
Capital inicial	\$	1071	51317
Costo de la energía	\$	0.132	0.21
Fracción de energía renovable	%	100	82.6
Emissiones de gases de efecto invernadero	sí/no	no	si
Potencia Requerida diaria	kWh	4.11	119.2
Potencia Generada anual	kWh	5984	148165
Margen de incremento de cargas	%	25	20
Tiempo de autonomía	horas	32.8	17
Energía perdida en el inversor	%	5	2
Cantidad de combustible utilizado	Litros/día	0	7.55
Fuente de energía	=====	Solar	Solar/Diesel

3.4 Análisis para el escenario 3 y escenario 4

En esta sección se presenta un análisis para los escenarios 3 y 4, para estos se considera la reutilización de los paneles fotovoltaicos instalados actualmente en la comunidad de la isla Bellavista.

Dentro del escenario 3 se examina el diseño de un sistema individual para cada una de las edificaciones de la zona, mientras que en el escenario 4 se plantea un sistema centralizado que cubra la demanda energética de las 29 edificaciones del sector.

En la Tabla 3.8 tenemos una comparación del número de equipos requeridos para los casos individual y centralizado, determinados mediante cálculos teóricos utilizando las fórmulas descritas en el capítulo 2 y de manera experimental obtenidos a partir de las simulaciones realizadas en el software HomerPro.

Tenemos para el caso individual una diferencia de 1 batería extra y 1 panel extra en el método experimental en comparación con el método teórico. Mientras que para el caso centralizado tenemos en cambio una reducción de 14 baterías menos y 8 paneles menos utilizando el método experimental a diferencia del método teórico. Esto se debe a que la simulación en HomerPro tomó como caso más óptimo el uso e implantación de un generador eléctrico a Diesel que producirá energía en las horas donde la demanda sea más elevada y la generación de energía por parte de los paneles sea baja o nula, es decir en las horas de 18:00 a 21:00 como se observa en los apéndices 3C y 5G.

Tabla 3.8: Comparación número de equipos.

	Caso Individual		Caso centralizado	
	Teóricos	Simulación	Teóricos	Simulación
Número de baterías requeridas	2	3	58	44
Número de Paneles requeridos	2	3	40	32

Para el análisis de los escenarios 3 y 4 tenemos los datos presentados en la tabla 3.9 y tabla 3.10 para el número de paneles disponibles en la isla que podrían ser reutilizados para este diseño, esta información fue obtenida del estudio “Evaluación de la sostenibilidad energética de la isla Bellavista en el Golfo de Guayaquil” (Peralta, 2019).

Tabla 3.9: Paneles para el diseño caso individual.

Caso individual		
(Para 29 edificaciones)	Unitario	Total
Número de paneles Disponibles	24	24
Número de paneles necesarios	2	58
Número de paneles requeridos para el rediseño		34
Costo paneles rediseño	\$ 60	\$ 2,040

Tabla 3.10: Paneles para el diseño caso centralizado.

Caso Centralizado		
(Para 29 edificaciones)	Unitario	Total
Número de paneles Disponibles		24
Número de paneles necesarios		32
Número de paneles requeridos para el rediseño		8
Costo paneles rediseño	\$ 60	\$ 480

Dado esto se tiene que para el caso individual en el rediseño se necesitaría 34 paneles fotovoltaicos nuevos dado que son 24 paneles los que se pueden reutilizar de los sistemas que actualmente están instalados en la isla. Dando así un costo en paneles de \$2040.00 para los 29 sistemas fotovoltaicos. (Ver tabla 3.9)

A su vez para el caso centralizado se necesitaría para el rediseño 8 paneles nuevos, esto reutilizando los 24 paneles existentes en las instalaciones actuales de cada vivienda. Obteniendo así un costo de paneles de \$480.00.

Una vez realizado los cálculos correspondientes y determinado el número de equipos que requieren ambos sistemas de energización se realizó el análisis de costos

presentado en las tablas 3.11 para el caso Individual y tabla 3.12 para el caso centralizado.

Analizando los datos de la tabla 3.11, se evidencia un costo promedio por cada instalación de \$959.07, hay que tener en cuenta que, en este análisis, sí se considera otros implementos necesarios para la instalación como los conectores, regulador de voltaje, cables solares y los soportes para los paneles. Todos estos precios son promediados de los valores cotizados en el mercado local.

Se debe añadir que para este análisis de costos se consideró la reutilización de los paneles solares, por ende, disminuyen los precios en relaciona al análisis de costos realizado en la simulación en HomerPro.

Tabla 3.11: Costos equipos e implementos para el diseño caso individual.

Caso individual				
Equipos	Cantidad	Unidades	Precio Unitario	Subtotal
Paneles fotovoltaicos	34	Unid.	\$ 60.00	\$ 2,040.00
Inversor	29	Unid.	\$ 300.00	\$ 8,700.00
Baterías	58	Unid.	\$ 230.00	\$ 13,340.00
Regulador	29	Unid.	\$ 30.00	\$ 870.00
Cables	1000	Metros	\$ 1.50	\$ 1,500.00
Conectores	58	Unid.	\$ 3.50	\$ 203.00
Soportes paneles	58	Unid.	\$ 20.00	\$ 1,160.00
Total (29 edificaciones)				\$ 27,813.00
Total (1 edificación)				\$ 959.07

Continuando con el análisis, en la tabla 3.12 se muestra los costos de equipos e implementos para el diseño del caso centralizado aquí podemos encontrar que el valor total para el sistema de energización es de \$16742.50, este sistema cubrirá la demanda energética de 29 edificaciones, para lo cual se consideró la utilización de un sistema híbrido (Solar – Diesel) reutilizando tanto los paneles fotovoltaicos previamente instalados en la zona y el generador eléctrico de 45KVA que utilizan en la isla.

La opción más óptima calculada y simulada por el software HomerPro fue utilizar un sistema híbrido, pero en las simulaciones el valor del capital inicial mostrado en los apéndices 1E es mucho más elevado debido a que el software considera como nuevos

a todos los equipos es decir no se puede establecer que se reutilizaran 24 paneles solares y 1 transformador eléctrico de 45KVA.

Tabla 3.12: Costos equipos e implementos para el diseño caso centralizado

Caso centralizado				
Equipos	Cantidad	Unidades	Precio Unitario	Subtotal
Paneles fotovoltaicos	8	Unid.	\$ 60.00	\$ 480.00
Inversor	1	Unid.	\$ 2,200.00	\$ 2,200.00
Baterías	44	Unid.	\$ 230.00	\$ 10,120.00
Regulador	29	Unid.	\$ 30.00	\$ 870.00
Cables	1500	Metros	\$ 1.50	\$ 2,250.00
Conectores	35	Unid.	\$ 3.50	\$ 122.50
Soportes paneles	35	Unid.	\$ 20.00	\$ 700.00
Total (29 edificaciones)				\$ 16,742.50
Total (1 edificación)				\$ 577.33

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Una vez realizado todos los análisis tanto económicos, técnicos y ambientales se concluye que el sistema más óptimo a implementarse en el rediseño del sistema de generación eléctrica en la isla Bellavista es: un sistema híbrido dado por generación fotovoltaica y por un generador a Diesel.
- Este proyecto cubrirá la demanda energética eléctrica de toda la comunidad dentro de la isla 24 horas al día.
- El capital inicial para este proyecto es de \$ 16,742.50, con una tasa interna de retorno del 104 % y un pago simple de 1.1 años.
- La fracción de energía renovable generada por el sistema híbrido es del 82.6 % , mientras que el 17.4 % restante genera emisiones de gases de efecto invernadero debido a la quema de combustible fósil (Diesel).
- El total de Diesel consumido por el generador eléctrico. es de 7,55 litros al día, teniendo 677 horas de operación al año. produciendo 7836 kWh/año.
- El total de energía eléctrica generada por el sistema fotovoltaico es de 148165 kWh/año de un total de 156001 kWh/año.
- Para el rediseño propuesto se utilizarán los siguientes equipos e implementos para así satisfacer la demanda energética y asegurar un mínimo de 3 días de autonomía:
 - 32 paneles fotovoltaicos Tata Power Solar 140 TP.

- 1 inversor Siemens SINVERT PVM24 UL.
 - 44 baterías solares selladas 12V 80Ah marca Powest.
 - 1 regulador de carga solar marca PWM modelo 2024.
 - 1 generador eléctrico Caterpillar 45 kVA.
- El sistema híbrido está diseñado para satisfacer un de margen de incremento de cargas eléctricas del 20%.
 - Dado que el sistema es híbrido (solar-Diesel) generará 7218 kg de Dióxido de carbono al año, 45.5 kg de monóxido de carbono al año, de tal manera que se considera una tasa baja de emisiones para la cantidad de energía producida por el sistema.
 - Este proyecto permite tener una guía para el correcto dimensionamiento de sistemas de energización híbridos aislados, que permitan garantizar la electrificación de las diferentes islas localizadas en el golfo de Guayaquil.

4.2 Recomendaciones

- Es de suma importancia realizar un correcto calculo y estimación de las cargas eléctricas actuales y considerar un incremento a futuro para realizar un correcto diseño.
- Tener en cuenta el lugar donde se realizará la instalación de los paneles fotovoltaicos para así realizar los cálculos correspondientes y posicionarlos con un correcto y optimo ángulo de inclinación y así disminuir las pérdidas ocasionadas por las sombras.
- Al momento de realizar las simulaciones en HomerPro es importante verificar que los datos meteorológicos (índice global de radiación, temperatura, viento) para la zona de implementación del proyecto provengan de estaciones de

meteorológicos locales cercanas, o al menos de bases de datos meteorológicos confiables.

- Para realizar un sistema de energización fotovoltaica aislado que cumpla con una óptima operación y mantenimiento se recomienda tener en cuenta la dualidad de los equipos para así poder realizar un oportuno plan de mantenimiento a los equipos, reduciendo así los posibles cortes y fallos en el sistema.

BIBLIOGRAFÍA

Abtahi, R. M.-A. (2017). *Photovoltaic Systems*. Boca raton - Florida: CRC Press.

Commission, C. E. (2001). *A Guide To Photovoltaic System Design And Installation*. Sacramento: ENDECOR ENGINEERING.

Cota, R. F.-M.-A. (2010). *Solar Energy Renewable Energy and the Enviroment*. Boca raton-Florida: CRC Press.

Cumba, C. E. (2017). *Estudio Energetico En Sistemas Fotovoltaicos Empleando Seguimiento Solar En Regiones Ecuatoriales*. Quito.

Elmenreich, T. K.-W. (2016). *Photovoltaic Systems* . Wiley.

Farfan, F. P. (2018). *Agroclimatologia del Ecuador*. Quito: Universidad Politecnica salesiana .

Goswami, D. Y. (2015). *Principles of Solar Engineering*. Boca raton - Florida: CRC Press.

Grant, C. (2010). *Fire Figther Safety and Emergency Response For Solar Power Systems*.

Jorge Aguilera, L. H. (2018). *Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos autonomos*. Andalucía: Universidad de Jaén.

Laboratry, N. R. (28 de 07 de 2021). *PV watts Calculator*. Obtenido de <https://pvwatts.nrel.gov/pvwatts.php>

Mark, A. M.-T. (2002). *Photovoltaics Fundamentals and Applications*. Waklam: ELSEVIER.

Mayfield, R. (2010). *Photovoltaic Design and Installation for Dummies*. New Jersey: Wiley.

Moran, D. A.-M. (2014). *Diseño y Dimensionamientos D ela instalacion D e Sistemas Fotovoltaicos Para S ectores Urbanos de Guayaquil y Comunidades Aislada*. Guayaquil.

Naranjo, A. B.-E.-J.-J.-K.-M. (2014). *Introduccion al Estudio de Fuentes Renovables de Energia*. Guayaquil: Proyecto Latin.

ONU. (2021). *OBEJTIVOS DE DESARROLO SOSTENIBLE 13*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/>

ONU. (2021). *OBJETIVO DE DESARROLLO SOSTENIBLE 11* . Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>

ONU. (2021). *OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE 7*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>

Ordoñez, D. V.-r. (2019). *Mapa Solar Del Ecuador*. SCIENERGY.

Peralta, J. (2019). Evauacion de la sostenibilidad energetica en la isla bellavista en el golfo de guayaquil. *17th LACCEI International Multi-conferencee for Engineering, Education, and Technology*. Jamaica.

Pineda, V. V.-F. (2015). *Diseño D e Generacion F tovoltaica Menor a 1MW Conectada a la S/E de Distribucion Kenedy norte* . Guayaquil.

Renovables, M. d. (2020). *Balance Energetico Nacional 2019*. Quito.

Resourcefulness. (2021). *stem.guide*. Obtenido de <https://stem.guide/topic/fuentes-de-energia-primaria-y-secundaria/?lang=es>

Rubio, T. D.-G. (2015). *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. Mc Graw Hil.

Schmidt, J. B. (2017). *Install your Own Solar Panels*. Nort adams : Mac Williams.

Springer. (2016). *Handbook of Solar Energy Theory, Analysis and Applications*. Pensacola-Florida: Springer.

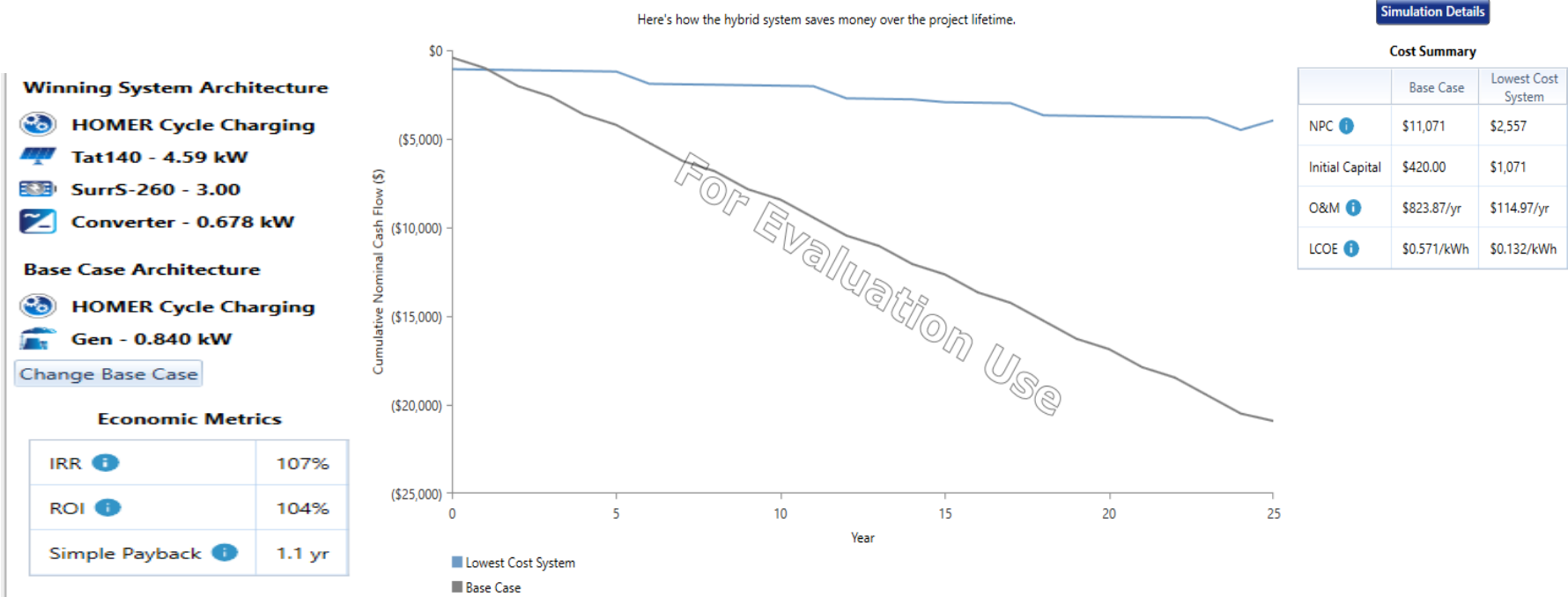
Vallejo, V. V. (2015). *Diseño De Generacion Fotovoltaica Menor a 1MW Conectada a la Subestacion Cerroblanco de la Red de Distribucion*. Guayaquil.

Wills, R. (2015). *Best Practices for Commercial Roof - Mounted Photovoltaic System Installation* . New York: Springer.

Xiao, W. (2017). *Photovoltaic Power System Modeling Design and Control*. New Jersey: WILEY.

APÉNDICES

Apéndice A: Resumen de resultados simulaciones para el caso individual.



Apéndice 1A: Resumen económico y de forma.

Export...

Optimization Results

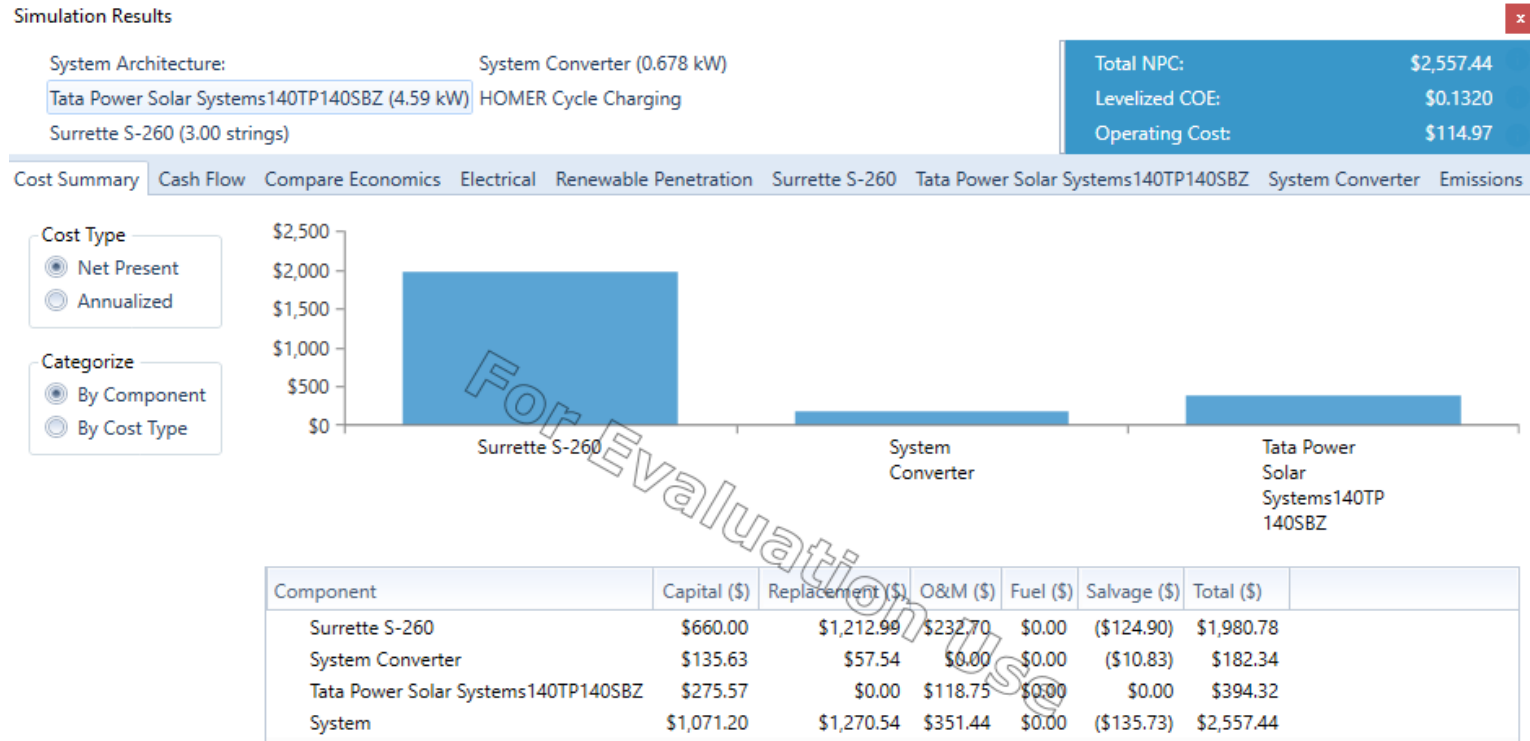
Categorized I

Left Double Click on a particular system to see its detailed Simulation Results.

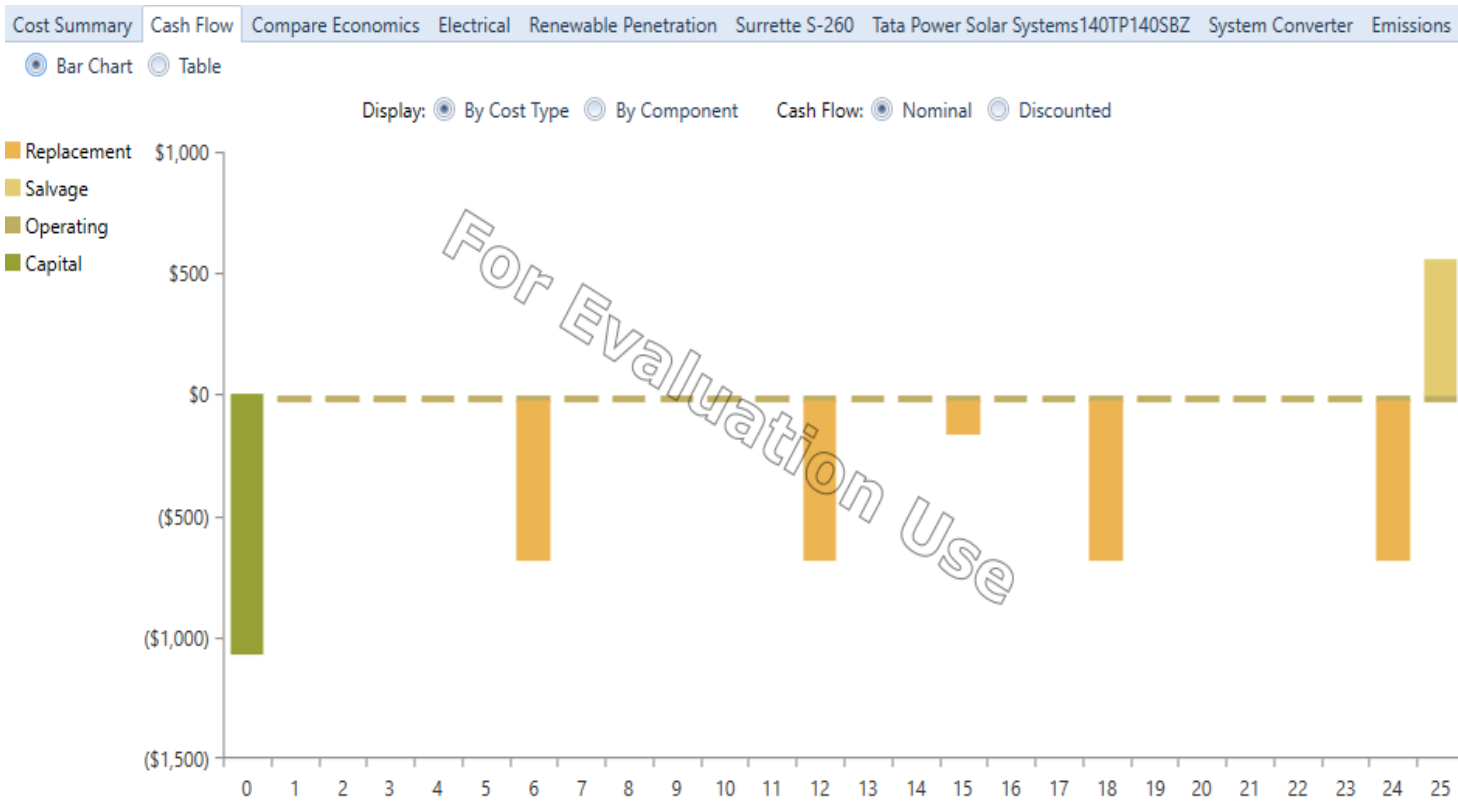
Architecture								Cost				System		Gen			
Tat140 (kW)	G1	Gen (kW)	SurrS-260	Converter (kW)	Dispatch	NPC (\$)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	Hours	Production (kWh)	Fuel (L)	O&M Cost (\$/yr)		
4.59			3	0.678	CC	\$2,557	\$0.132	\$114.97	\$1,071	100	0						
4.29		0.840	2	0.561	LF	\$2,725	\$0.141	\$115.70	\$1,230	95.2	24.3	155	72.2	24.3	3.91		
		0.840	2	0.572	CC	\$7,241	\$0.374	\$484.78	\$974.30	0	557	2,700	1,825	557	68.0		
13.2		0.840		0.400	CC	\$8,004	\$0.413	\$519.16	\$1,292	15.8	546	5,276	1,262	546	133		
		0.840			CC	\$11,071	\$0.571	\$823.87	\$420.00	0	897	8,760	2,059	897	221		
4.51	1		3	0.681	CC	\$11,175	\$0.577	\$240.44	\$8,067	100	0						
3.62	1	0.840	2	0.562	LF	\$11,285	\$0.582	\$239.45	\$8,190	96.0	19.9	127	59.2	19.9	3.20		
	1	0.840	2	0.478	CC	\$14,574	\$0.752	\$511.98	\$7,956	14.6	400	2,096	1,280	400	52.8		
10.3	1	0.840		0.419	CC	\$16,412	\$0.847	\$641.12	\$8,124	20.5	522	5,127	1,192	522	129		
	1	0.840		0.300	LF	\$19,436	\$1.00	\$924.83	\$7,480	0	841	8,342	1,903	841	210		
	5		22	0.715	CC	\$53,736	\$2.77	\$1,064	\$39,983	100	0						

Apéndice 2A: Tabla comparativa de posibles soluciones de diseño híbrido.

Apéndice B: Resultados económicos para el caso individual



Apéndice 1B: Resumen de costos caso individual.



Apéndice 2B: Flujo de caja para el caso individual

You may choose a different base case using the Compare Economics button on the Results Summary Table.

	Architecture							Cost			
					Tat140 (kW)	G1	Gen (kW)	SurrS-260	Converter (kW)	NPC (\$)	Initial capital (\$)
Base system							0.840			\$11,071	\$420.00
Proposed system					4.59			3	0.678	\$2,557	\$1,071

Metric	Value
Present worth (\$)	\$8,513
Annual worth (\$/yr)	\$659
Return on investment (%)	104.1
Internal rate of return (%)	106.6
Simple payback (yr)	1.09
Discounted payback (yr)	1.13

[Charts...](#)

Apéndice 3B: Comparación económica caso base y caso propuesto.

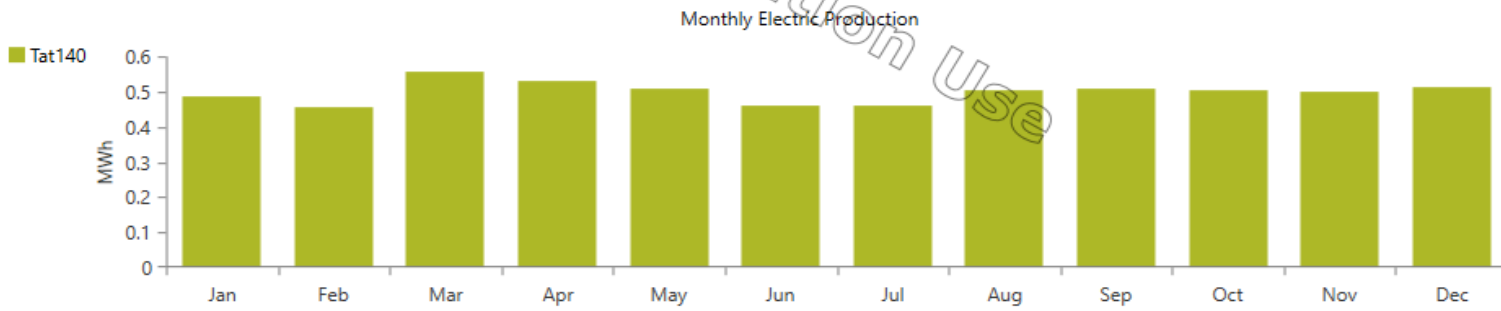
Apéndice C: Resultados técnicos para el caso individual

Production	kWh/yr	%
Tata Power Solar Systems140TP140SBZ	5,984	100
Total	5,984	100

Consumption	kWh/yr	%
AC Primary Load	1,499	100
DC Primary Load	0	0
Deferrable Load	0	0
Total	1,499	100

Quantity	kWh/yr	%
Excess Electricity	4,217	70.5
Unmet Electric Load	0.347	0.0231
Capacity Shortage	1.49	0.0995

Quantity	Value	Units
Renewable Fraction	100	%
Max. Renew. Penetration	5,275	%

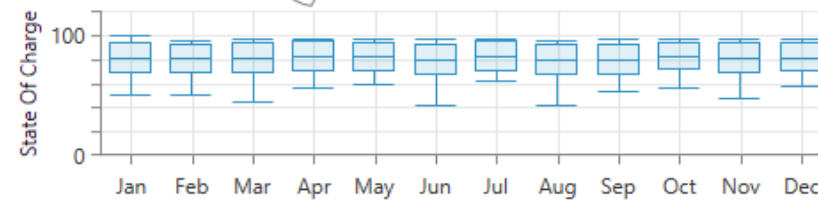
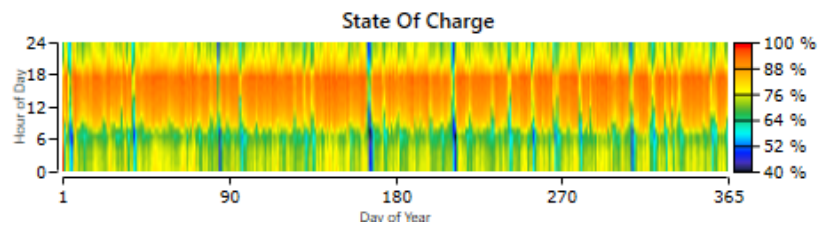
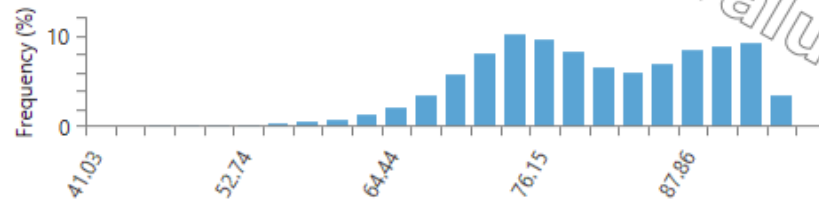


Apéndice 1C: Datos de generación eléctrica.

Quantity	Value	Units
Batteries	3.00	qty.
String Size	1.00	batteries
Strings in Parallel	3.00	strings
Bus Voltage	12.0	V

Quantity	Value	Units
Autonomy	32.8	hr
Storage Wear Cost	0.144	\$/kWh
Nominal Capacity	9.37	kWh
Usable Nominal Capacity	5.62	kWh
Lifetime Throughput	5,115	kWh
Expected Life	5.94	yr

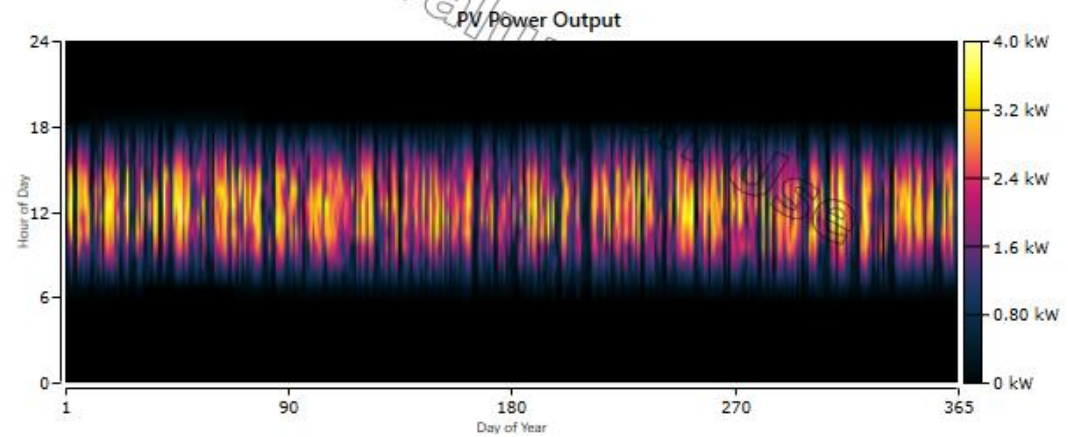
Quantity	Value	Units
Average Energy Cost	0	\$/kWh
Energy In	960	kWh/yr
Energy Out	770	kWh/yr
Storage Depletion	2.64	kWh/yr
Losses	192	kWh/yr
Annual Throughput	861	kWh/yr



Apéndice 2C: Resultados para el sistema de almacenamiento de energía seleccionado.

Quantity	Value	Units
Rated Capacity	4.59	kW
Mean Output	0.683	kW
Mean Output	16.4	kWh/d
Capacity Factor	14.9	%
Total Production	5,984	kWh/yr

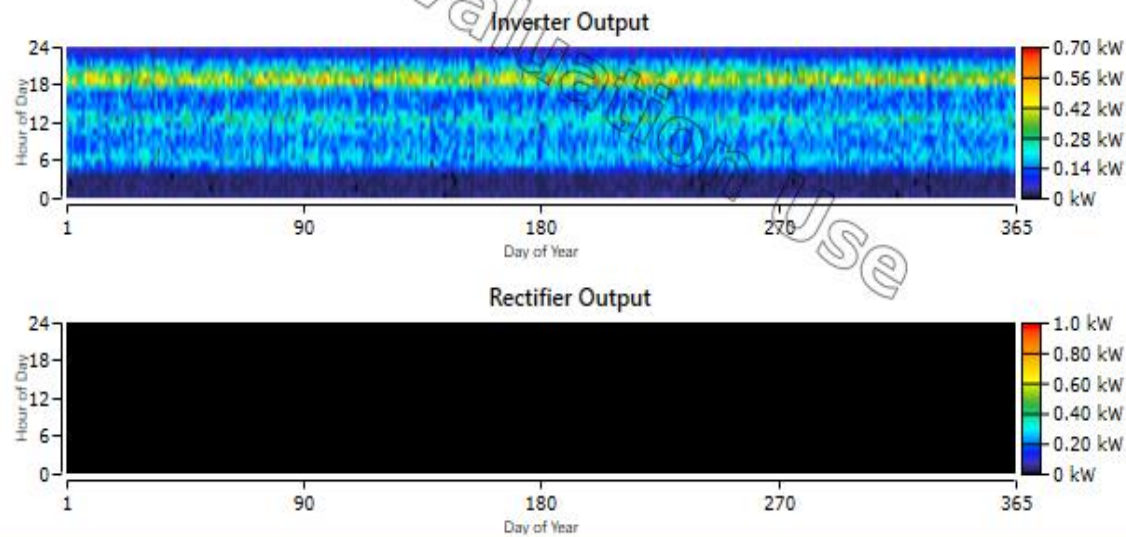
Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	3.91	kW
PV Penetration	399	%
Hours of Operation	4,409	hrs/yr
Levelized Cost	0.00510	\$/kWh



Apéndice 3C: Resultados de los paneles fotovoltaicos seleccionados.

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Capacity	0.678	0.678	kW
Mean Output	0.171	0	kW
Minimum Output	0.00756	0	kW
Maximum Output	0.678	0	kW
Capacity Factor	25.2	0	%

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Hours of Operation	8,760	0	hrs/yr
Energy Out	1,499	0	kWh/yr
Energy In	1,578	0	kWh/yr
Losses	78.9	0	kWh/yr



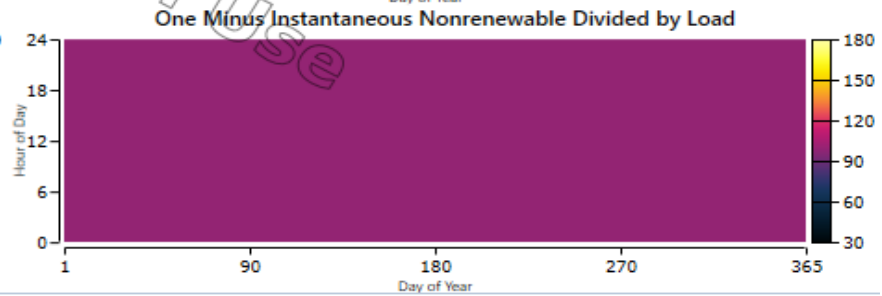
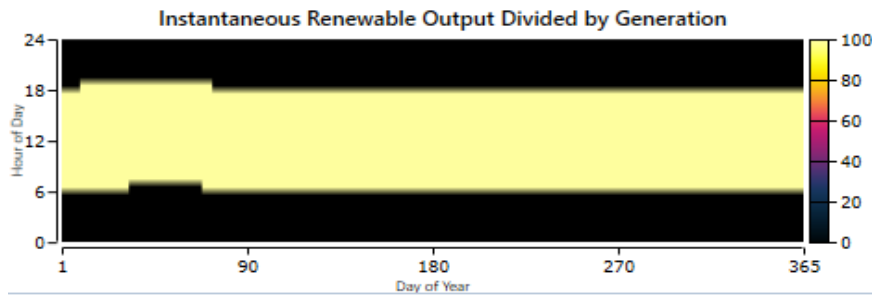
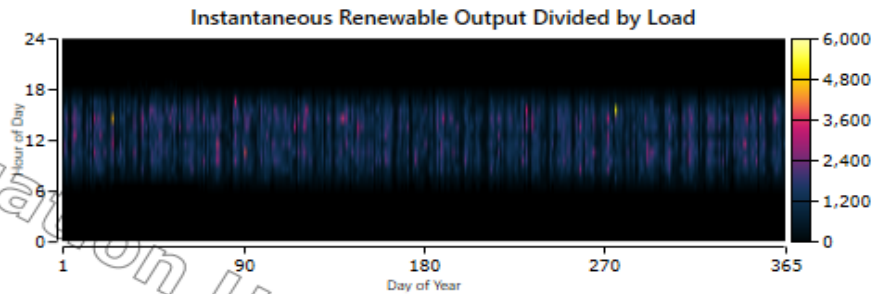
Apéndice 4C: Resultados para el sistema inversor seleccionado.

Apéndice D: Resultados ambientales para el caso individual

Capacity-based metrics	Value	Units
Nominal renewable capacity divided by total nominal capacity	100	%
Usable renewable capacity divided by total capacity	100	%

Energy-based metrics	Value	Units
Total renewable production divided by load	399	%
Total renewable production divided by generation	100	%
One minus total nonrenewable production divided by load	100	%

Peak values	Value	Units
Renewable output divided by load (HOMER standard)	5,275	%
Renewable output divided by total generation	100	%
One minus nonrenewable output divided by total load	100	%

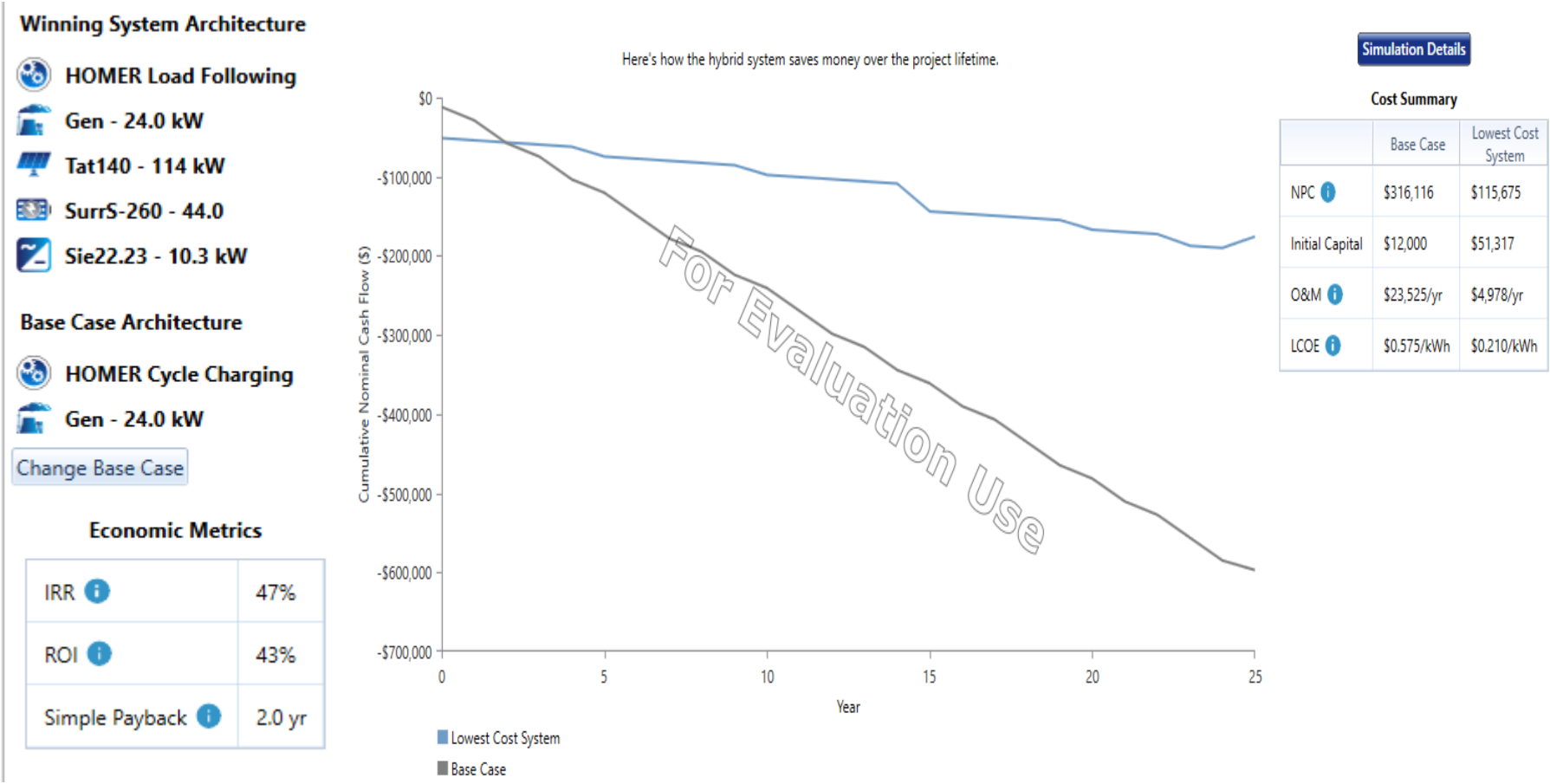


Apéndice 1D: Resultados de Penetración Renovable para el caso individual.

Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	0	kg/yr
Carbon Monoxide	0	kg/yr
Unburned Hydrocarbons	0	kg/yr
Particulate Matter	0	kg/yr
Sulfur Dioxide	0	kg/yr
Nitrogen Oxides	0	kg/yr

Apéndice 2D: Resultados de Emisiones para el caso individual propuesto.

Apéndice E: Resumen de resultados para el caso centralizado



Apéndice 1E: Resumen económico y de forma caso centralizado

Export...

Optimization Results

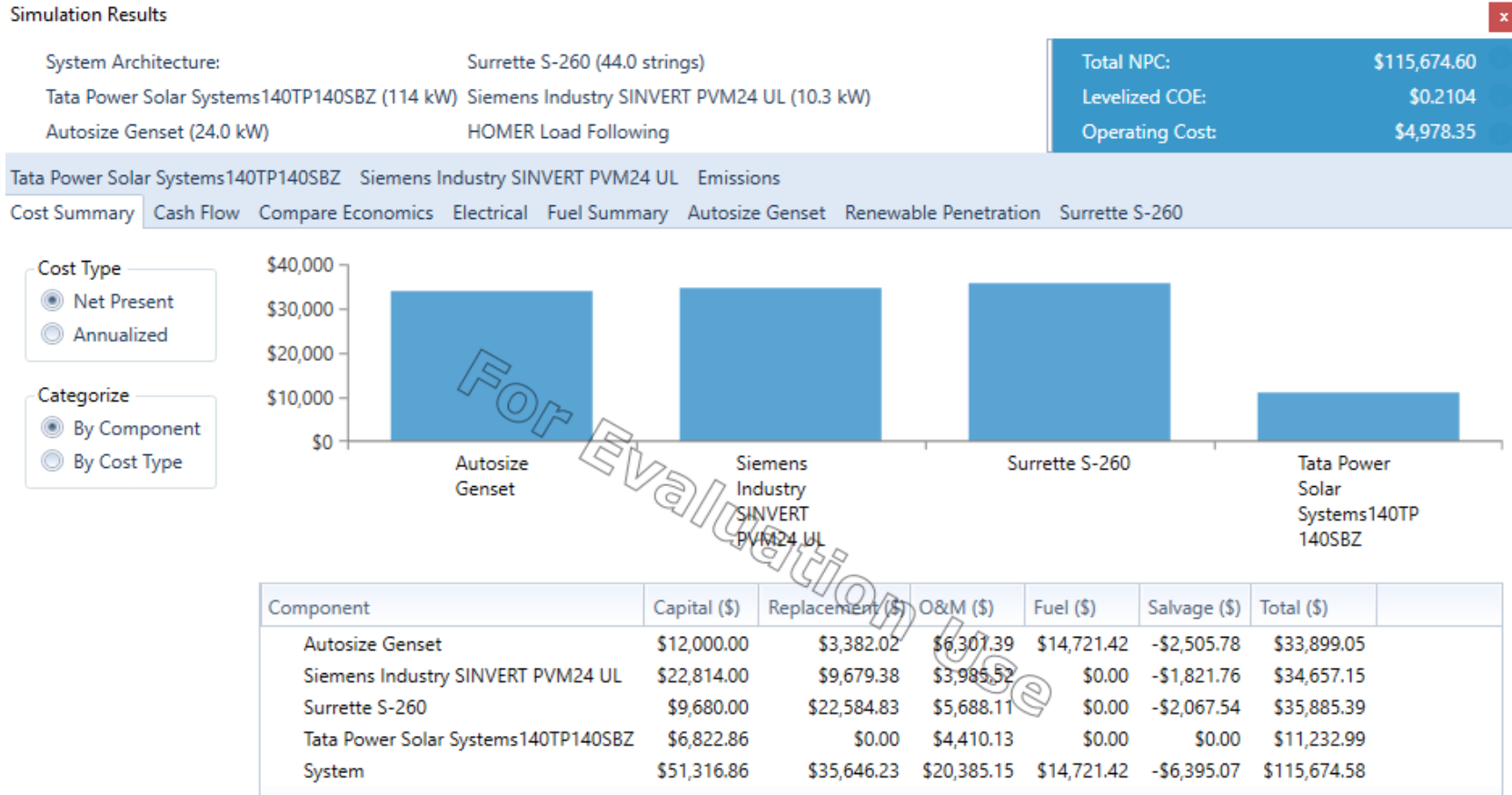
Categorized Overall

Left Double Click on a particular system to see its detailed Simulation Results.

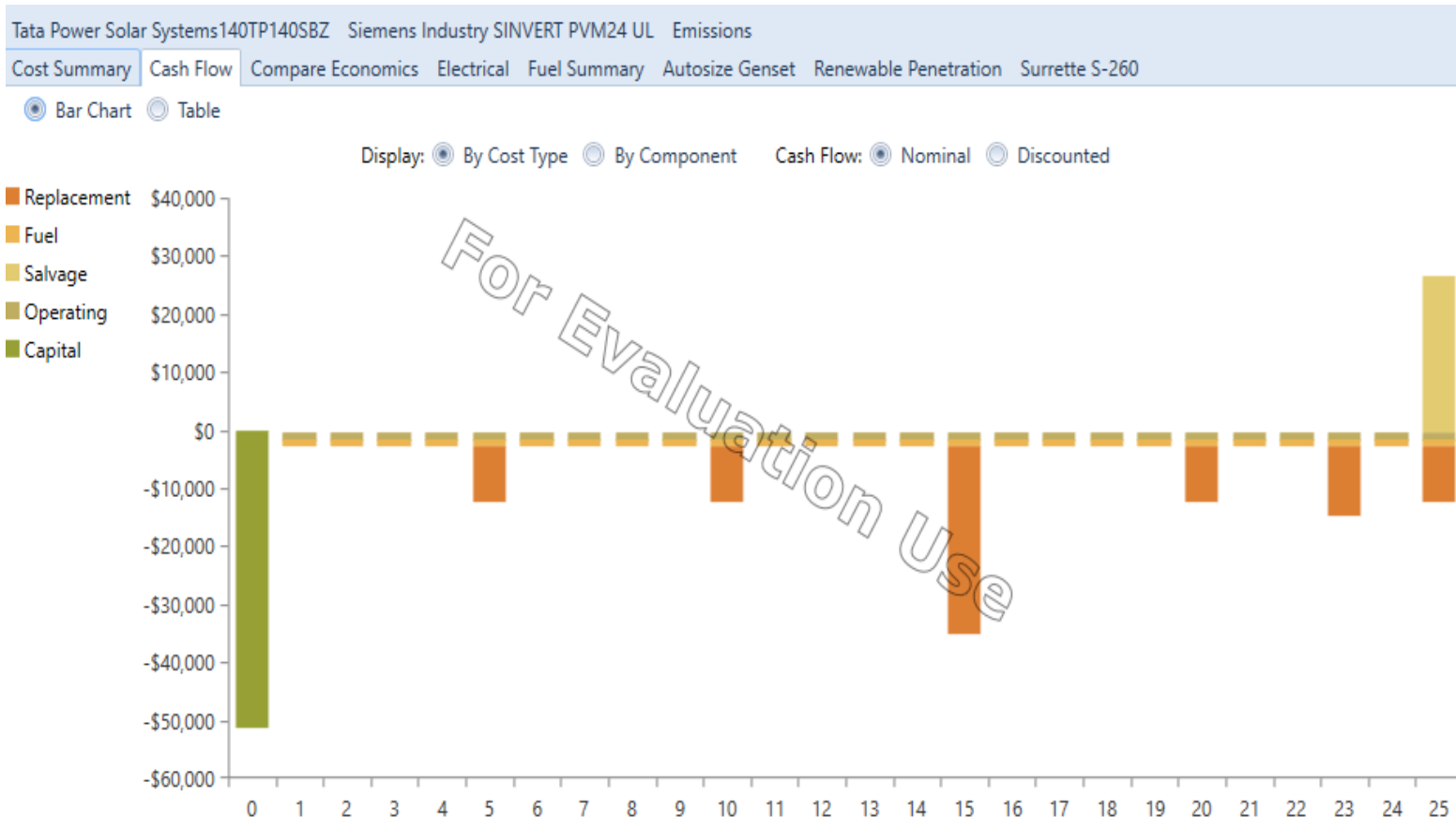
Architecture										Cost				System		Gen			
Tat140 (kW)	G1	Gen (kW)	SurrS-260	Sie22.23 (kW)	Efficiency1	Dispatch	NPC (\$)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	Hours	Production (kWh)	Fuel (L)	O&M C (\$/yr)			
114		24.0	44	10.3	0	LF	\$115,675	\$0.210	\$4,978	\$51,317	81.6	2,757	677	7,836	2,757	487			
108	1	24.0	43	10.6	0	LF	\$123,948	\$0.225	\$5,072	\$58,383	82.2	2,658	652	7,558	2,658	469			
171			67	19.2	0	CC	\$135,893	\$0.247	\$5,289	\$67,525	100	0							
170	1		67	19.1	0	CC	\$144,015	\$0.262	\$5,393	\$74,294	100	0							
284		24.0		8.94	0	CC	\$262,634	\$0.478	\$16,535	\$48,879	10.7	16,476	5,601	37,982	16,476	4,033			
281	1	24.0		8.98	0	CC	\$271,287	\$0.494	\$16,667	\$55,821	10.8	16,458	5,600	37,909	16,458	4,032			
		24.0			0	CC	\$316,116	\$0.575	\$23,525	\$12,000	0	25,599	8,760	58,682	25,599	6,307			
		24.0	1	0.344	0	CC	\$317,639	\$0.578	\$23,566	\$12,983	0	25,591	8,757	58,664	25,591	6,305			
	1	24.0	3	1.37	0	LF	\$318,538	\$0.579	\$22,885	\$22,698	0	24,587	8,407	56,401	24,587	6,053			
	1	24.0		0.0220	0	CC	\$325,030	\$0.591	\$23,669	\$19,049	0	25,591	8,760	58,651	25,591	6,307			

Apéndice 2E: Tabla comparativa de los posibles casos para el diseño híbrido.

Apéndice F: Resultados económicos para el caso centralizado



Apéndice 1F: Resumen de costos para el caso centralizado.



Apéndice 2F: Flujo de caja por el tipo de costo para el sistema centralizado.

You may choose a different base case using the Compare Economics button on the Results Summary Table.

	Architecture							Cost	
	Tat140 (kW)	G1	Gen (kW)	SurrS-260	Sie22.23 (kW)	Efficiency1	NPC (\$)	Initial capital (\$)	
Base system			24.0			0	\$316,116	\$12,000	
Proposed system	114		24.0	44	10.3	0	\$115,675	\$51,317	

Metric	Value
Present worth (\$)	\$200,442
Annual worth (\$/yr)	\$15,505
Return on investment (%)	42.9
Internal rate of return (%)	47.0
Simple payback (yr)	1.96
Discounted payback (yr)	2.20

Charts...

Apéndice 3F: Comparación económica de los casos propuesto y caso base.

Apéndice G: Resultados técnicos para el caso centralizado

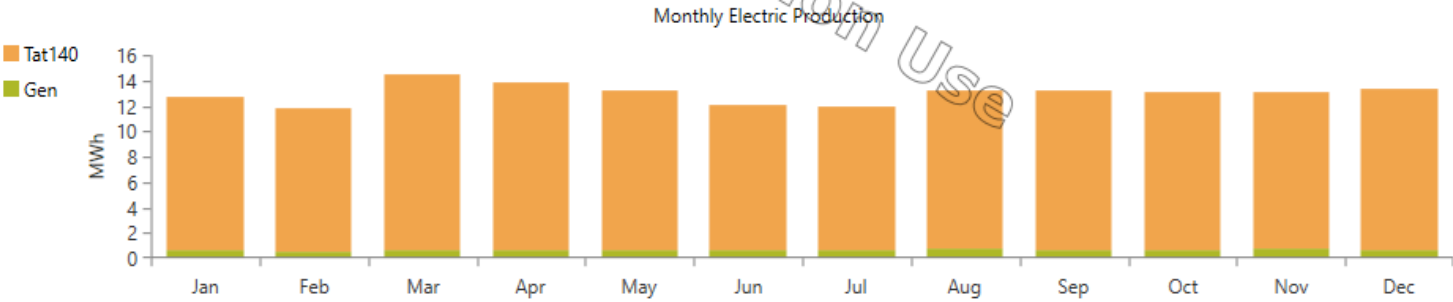
Tata Power Solar Systems140TP140SBZ Siemens Industry SINVERT PVM24 UL Emissions
 Cost Summary Cash Flow Compare Economics Electrical Fuel Summary Autosize Genset Renewable Penetration Surrette S-260

Production	kWh/yr	%
Tata Power Solar Systems140TP140SBZ	148,165	95
Autosize Genset	7,836	5.1
Total	156,001	100

Consumption	kWh/yr	%
AC Primary Load	42,522	100
DC Primary Load	0	0
Deferrable Load	0	0
Total	42,522	100

Quantity	kWh/yr	%
Excess Electricity	109,380	70.1
Unmet Electric Load	0	0
Capacity Shortage	0	0

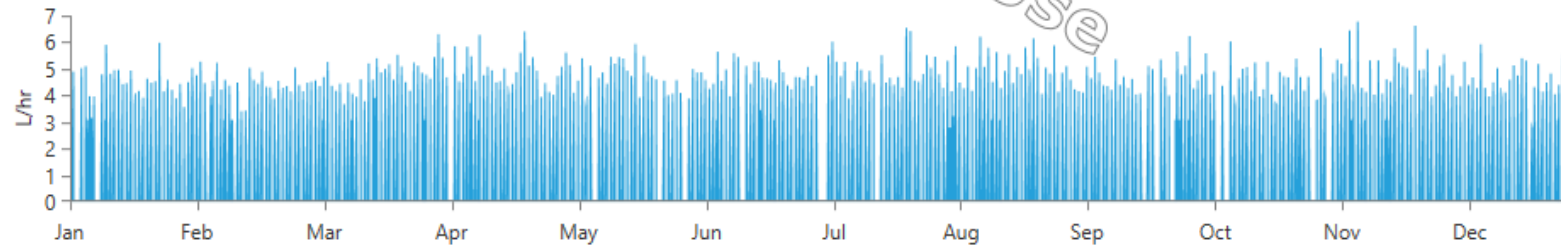
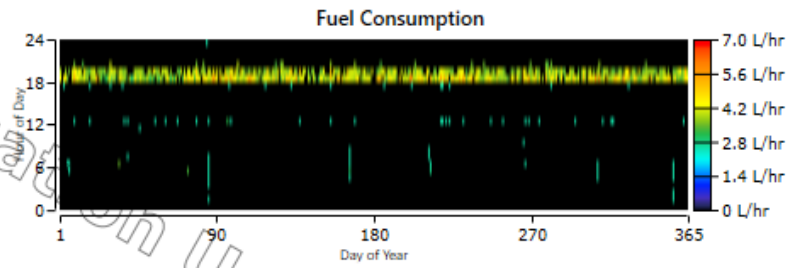
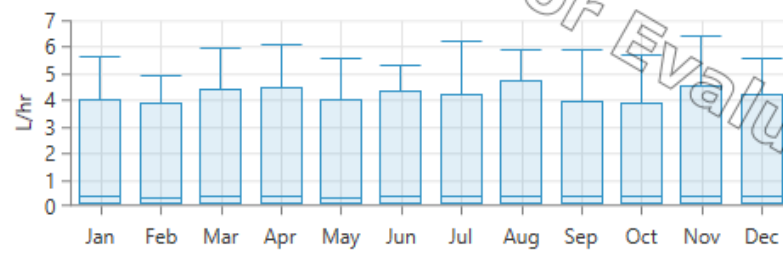
Quantity	Value	Units
Renewable Fraction	81.6	%
Max. Renew. Penetration	4,604	%



Apéndice 1G: Resultados de generación eléctrica caso centralizado.

Diesel

Quantity	Value	Units
Total fuel consumed	2,757	L
Avg fuel per day	7.55	L/day
Avg fuel per hour	0.315	L/hour

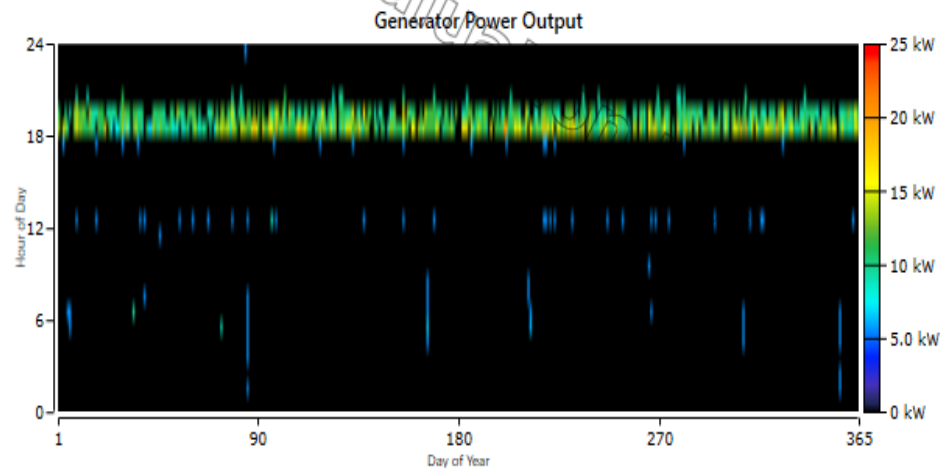


Apéndice 2G: Resumen de consumo de combustible.

Quantity	Value	Units
Hours of Operation	677	hrs/yr
Number of Starts	394	starts/yr
Operational Life	22.2	yr
Capacity Factor	3.73	%
Fixed Generation Cost	2.07	\$/hr
Marginal Generation Cost	0.0975	\$/kWh

Quantity	Value	Units
Electrical Production	7,836	kWh/yr
Mean Electrical Output	11.6	kW
Minimum Electrical Output	6.00	kW
Maximum Electrical Output	21.6	kW

Quantity	Value	Units
Fuel Consumption	2,757	L
Specific Fuel Consumption	0.352	L/kWh
Fuel Energy Input	27,132	kWh/yr
Mean Electrical Efficiency	28.9	%

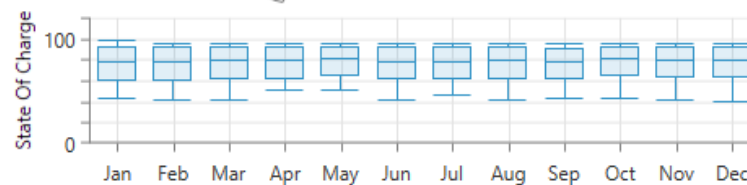
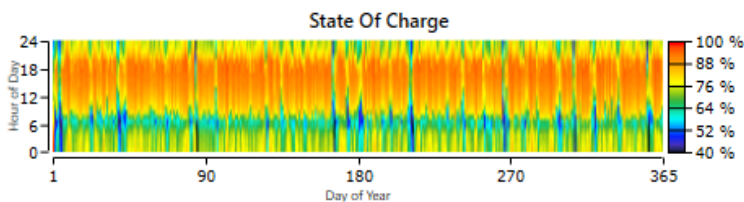
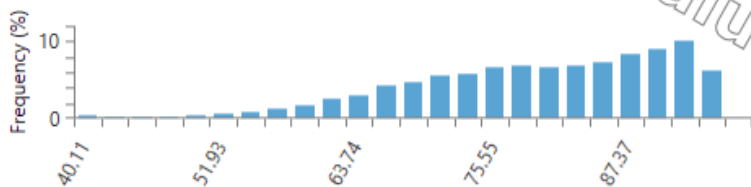


Apéndice 3G: Resultados para el generador eléctrico a Diesel.

Quantity	Value	Units
Batteries	44.0	qty.
String Size	1.00	batteries
Strings in Parallel	44.0	strings
Bus Voltage	12.0	V

Quantity	Value	Units
Autonomy	17.0	hr
Storage Wear Cost	0.144	\$/kWh
Nominal Capacity	137	kWh
Usable Nominal Capacity	82.4	kWh
Lifetime Throughput	75,016	kWh
Expected Life	4.89	yr

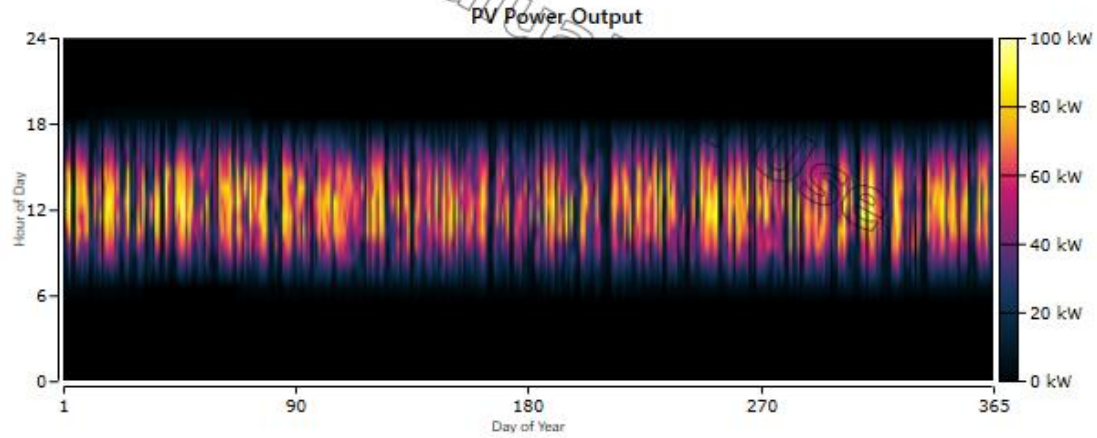
Quantity	Value	Units
Average Energy Cost	0	\$/kWh
Energy In	17,100	kWh/yr
Energy Out	13,710	kWh/yr
Storage Depletion	33.8	kWh/yr
Losses	3,424	kWh/yr
Annual Throughput	15,328	kWh/yr



Apéndice 4G: Resultados para el sistema de almacenamiento de energía.

Quantity	Value	Units
Rated Capacity	114	kW
Mean Output	16.9	kW
Mean Output	406	kWh/d
Capacity Factor	14.9	%
Total Production	148,165	kWh/yr

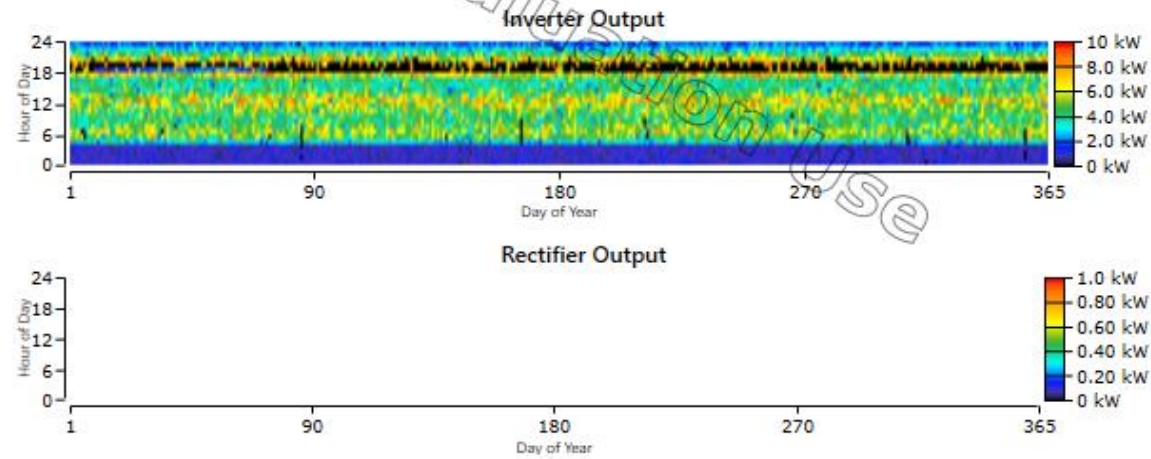
Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	96.8	kW
PV Penetration	348	%
Hours of Operation	4,409	hrs/yr
Levelized Cost	0.00587	\$/kWh



Apéndice 5G: Resultados generación paneles fotovoltaicos.

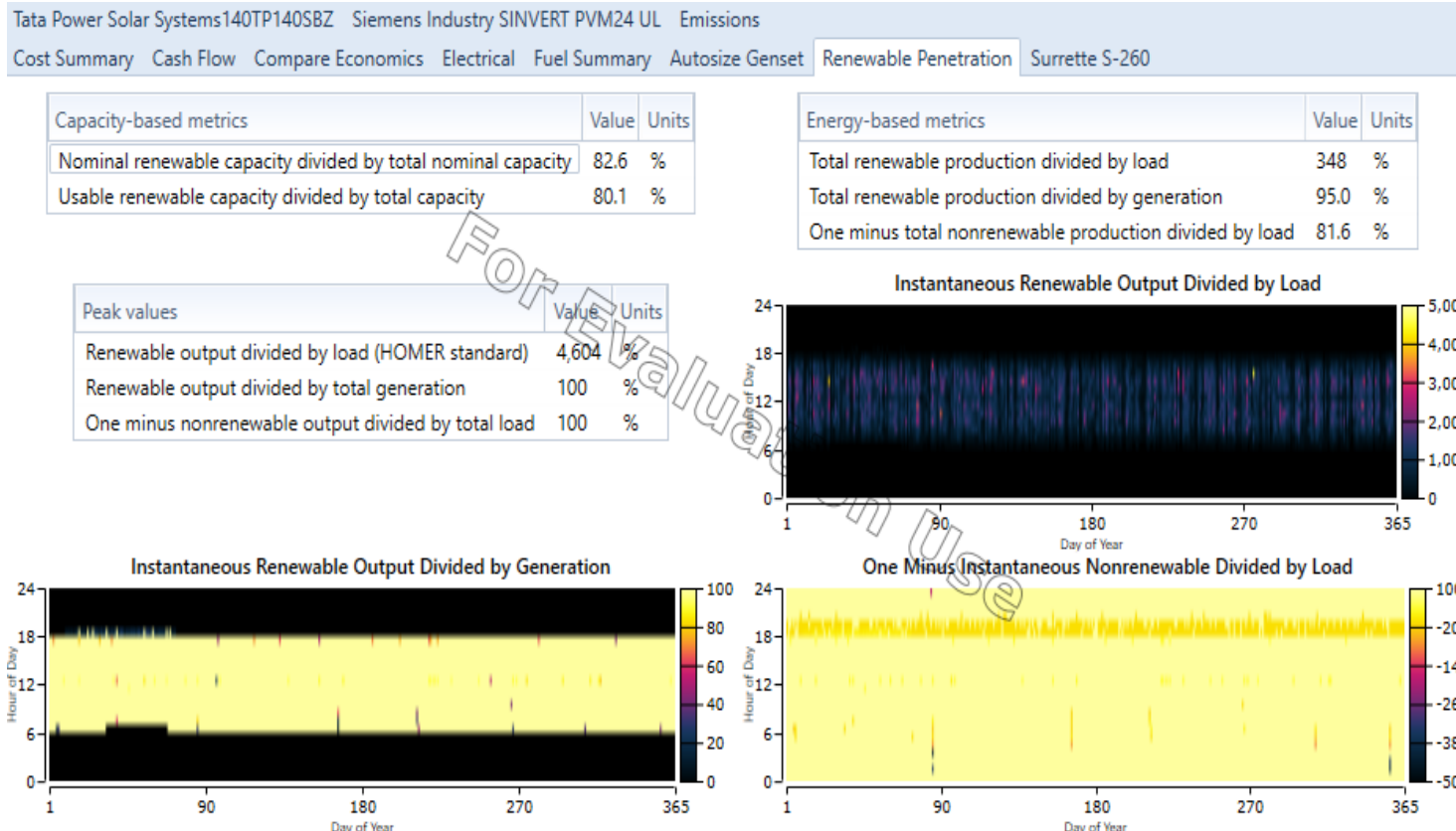
Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Capacity	10.3	0	kW
Mean Output	3.96	0	kW
Minimum Output	0	0	kW
Maximum Output	9.34	0	kW
Capacity Factor	38.6	0	%

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Hours of Operation	8,191	0	hrs/yr
Energy Out	34,726	0	kWh/yr
Energy In	35,435	0	kWh/yr
Losses	709	0	kWh/yr



Apéndice 6G: Resultados del inversor seleccionado.

Apéndice H: Resultados ambientales para el caso centralizado.



Apéndice 1H: Resultados de penetración renovable caso centralizado.

Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	7,218	kg/yr
Carbon Monoxide	45.5	kg/yr
Unburned Hydrocarbons	1.99	kg/yr
Particulate Matter	0.276	kg/yr
Sulfur Dioxide	17.7	kg/yr
Nitrogen Oxides	42.7	kg/yr

Apéndice 2H: Resultados de emisiones para el caso centralizado.