

PROYECTO FINAL

Energía Solar Fotovoltaica – Energía Eólica

Autor: Francisco G. Lazcano

Cátedra: Energías Renovables

Profesores: Mg. Rafael Oliva; Ing. Jorge Lescano; Ing. Patricio Triñanes

Universidad Nacional de la Patagonia Austral

Año: 2020

Resumen

En este trabajo se realiza el diseño y la simulación de un sistema de generación de energía eléctrica, mediante las energías renovables solar fotovoltaica y eólica, para una vivienda aislada que está ubicada en las afueras de la ciudad de Rio gallegos, Santa Cruz, Argentina. La simulación es realizada en el software "HOMER Pro".

Palabras clave: energía renovable, energía solar, energía eólica, HOMER Pro.

Introducción

Una familia de cuatro personas que vive en las afueras de la ciudad de Rio gallegos busca alternativas a la utilización de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica, debido a las emisiones del gas de efecto invernadero CO₂ que produce tal práctica.

En este informe se diseña un emplazamiento de energías renovables para satisfacer la demanda energética de dicha familia y se analizan los pros y contras económicos de dicho sistema.

La vivienda cuenta con los siguientes electrodomésticos y artefactos eléctricos.

Tabla 1: *Electrodomésticos y artefactos eléctricos de la vivienda*

Cantidad	Descripción	Potencia (W)
7	Lámpara de techo	15
1	Luminaria baño	12
4	Luminarias exteriores	18
2	TV LED 32"	90
1	TV LED 42"	110
1	Notebook	22
1	Batidora	300
1	Bomba de agua	380
1	Heladera	200
1	Lavarropas	500

Poder brindar información en cuanto a costos y dimensiones de un emplazamiento de energías renovables para satisfacer el consumo de una vivienda promedio en la zona sur de la Patagonia Argentina es lo que motiva el desarrollo de este trabajo.

Marco teórico

Se entiende por energía a la capacidad para realizar un determinado trabajo, en términos prácticos se la puede considerar como la medida de la capacidad de un sistema para realizar trabajo o ceder calor. El concepto de energía eléctrica no hace referencia a un tipo de energía, ya que las formas de energía reconocidas son la energía mecánica y la energía interna de los cuerpos, sino que se encuentra relacionado a un mecanismo de transferencia de energía mediante flujo de cargas, pero es valioso para expresar el origen de la energía que se manifiesta y es por ello que aún es utilizado. [1]

La energía eléctrica es uno de los pilares de la sociedad tecnológica actual, su demanda ha ido en ascenso a lo largo de las últimas décadas lo que ha implicado un mayor consumo de combustibles fósiles. Esto ha activado la alarma ambiental debido al agotamiento de las reservas energéticas y también por el daño que implica el uso desmedido de dichos combustibles. En este contexto es que se buscaron alternativas para la generación de energía, y surgió el uso de las energías renovables.

Las fuentes de energías renovables son aquellas que proceden del flujo de energía que recibe continuamente la Tierra, y que tiene su origen en el sol, aunque en ciertos casos existe una contribución de los campos gravitatorios terrestre y lunar. [2]

A continuación, se describen las energías renovables solar fotovoltaica y eólica utilizadas en el emplazamiento a diseñar.

Energía solar fotovoltaica

La radiación solar puede ser convertida en energía eléctrica mediante el efecto fotoeléctrico, el cual aprovecha la energía de los fotones para producir electricidad. En particular, es de interés la generación fotovoltaica, en la cual como consecuencia de la absorción de radiación luminosa se produce una fem en un material semiconductor. [2]

Los componentes de una instalación solar fotovoltaica son los paneles solares, regulador de carga, banco de baterías e inversor.

- Paneles solares

El panel solar está conformado por células, conectadas eléctricamente sobre una estructura de soporte. Las células son las encargadas de convertir los fotones de la luz del Sol en electricidad mediante el efecto fotovoltaico.

Los diferentes tipos de paneles solares se definen según la tecnología de fabricación de sus células, las cuales pueden ser de silicio cristalino (monocristalino y policristalino) o silicio amorfo.

Parámetros importantes de los paneles solares son la potencia y su voltaje nominal que define si los paneles se deben conectar en serie para alcanzar la tensión de banco o en paralelo para aumentar la intensidad total del conjunto.

- Regulador de carga

Este elemento se ubica entre paneles, baterías y carga, su función es asegurar el correcto funcionamiento de la instalación evitando situaciones de sobrecarga o sobredescarga de las baterías.

- Acumuladores

Las baterías o acumuladores son dispositivos capaces de transformar la energía química en eléctrica y viceversa. Tienen las funciones de almacenar la energía recolectada durante las horas de Sol y aprovecharlas en las horas donde el recurso es escaso o nulo y proporcionar una potencia instantánea elevada.

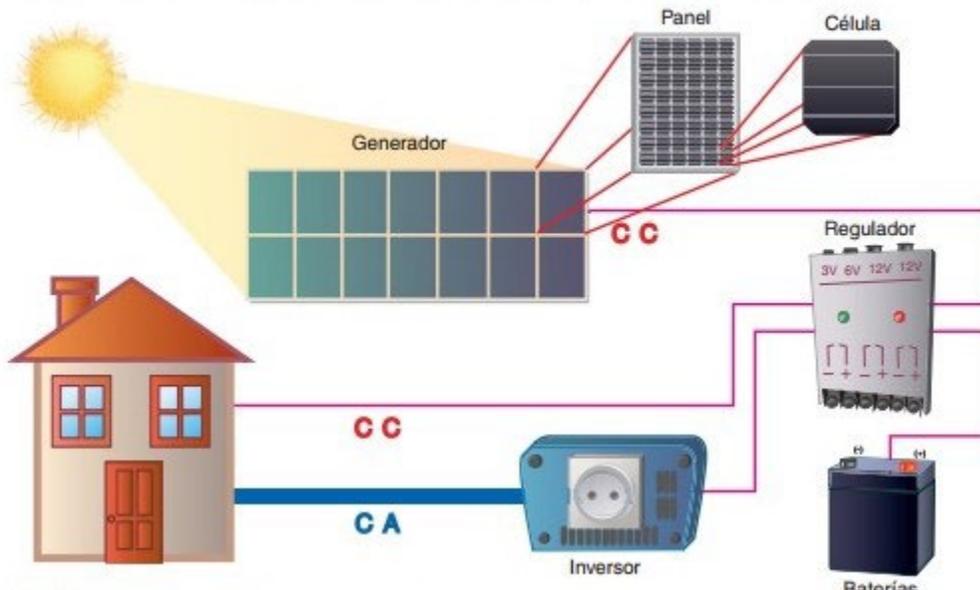
Hay diferentes tipos de baterías y los más utilizados en emplazamientos renovables son las de plomo-ácido, níquel-cadmio e ion litio. Estas difieren principalmente en precio, tamaño y peso, capacidad y profundidad recomendada de descarga.

- Inversor

El último elemento que forma parte de la instalación es el inversor. Su función es convertir la corriente continua de la instalación en corriente alterna, que es el tipo de corriente utilizado por la mayoría de los electrodomésticos y artefactos eléctricos de las viviendas.

En la figura 1 se puede observar un esquema típico de una instalación fotovoltaica.

Figura 1: Esquema general de una instalación fotovoltaica



Energía eólica

El viento es una corriente de aire resultante de las diferencias de presión en la atmósfera, provocadas en la mayoría de los casos, por variaciones de temperatura. [2]

La energía del viento es de tipo cinética, cuando una masa de aire se mueve a una determinada velocidad su energía es:

$$E_c = 1/2mv^2 \text{ [J]}$$

Si consideramos que el aire tiene una densidad ρ y circula a través de una sección perpendicular de área S , el caudal másico se define como:

$$\dot{m} = \rho Sv \text{ [kg/s]}$$

Por lo tanto, la energía del viento teóricamente recuperable por unidad de tiempo es entonces:

$$P_t = 1/2\rho Sv^3 \text{ [W]}$$

Un aerogenerador es una máquina eólica en la cual mediante el viento se acciona un generador eléctrico. Algunos de los elementos que lo componen son los soportes, sistema de captación y sistema de generación.

- Soportes

Las máquinas eólicas se colocan sobre un soporte capaz de tolerar el empuje del viento que transmita el sistema de captación y las vibraciones que puedan producirse y debe tener la altura suficiente para evitar las turbulencias ocasionadas por el suelo y superar posibles obstáculos.

- Sistema de captación

El rotor, siendo el elemento principal de una máquina eólica, cuenta con un determinado número de palas y se encarga de convertir la energía cinética del viento en energía mecánica.

Uno de los parámetros que define las características del rotor es el rendimiento aerodinámico o coeficiente de potencia (C_p) y está dado por las características geométricas de las palas. Bajo el teorema de Betz el rendimiento máximo que puede alcanzarse es del 59%, aunque sus valores comúnmente oscilan entre el 20-40 %.

Incluyendo el coeficiente de potencia, la potencia teórica utilizable es entonces:

$$P_t = 1/2 P_{sc} C_p v^3 \text{ [W]}$$

- Sistema de generación

El sistema de generación es el encargado de transformar la energía mecánica en energía eléctrica, puede ser dinamo o alternador y estos últimos a su vez de inducción (asíncronos) o de excitación (síncronos).

Los alternadores producen corriente alterna y pueden recibir una corriente de excitación continua o alterna dependiendo si sean síncronos o asíncronos, respectivamente.

Marco metodológico

El desarrollo del ejercicio de dimensionamiento se realiza mediante planillas de Excel y el software Homer. Inicialmente, se considera que el consumo de la vivienda va a ser abastecido un 50% de ESF y otro 50% de EE. Luego, se simula el ejercicio en Homer para obtener resultados de mayor exactitud. A continuación, se describen los procesos de cálculo de cada una de las planillas y el desarrollo de la simulación en Homer.

Los perfiles de consumo de la vivienda en las temporadas otoño-invierno y primavera-verano se pueden observar en las figuras 2 y 3, respectivamente.

Figura 2: Perfil de consumo otoño-invierno

Perfil Otoño-Invierno				Horas del día																								
Lugar	Artefacto	Potencia [W]	Cantidad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Cocina	Lampara	15	2											1.00	1.00	1.00						1.00	1.00					
	Heladera	200	1	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.39	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.30	0.30	0.30		
Living-Comedor	Lampara	15	2							1.00	1.00	1.00			1.00	1.00			1.00				1.00	1.00				
	Batidora	300	1															0.09										
	Televisor	110	1												1.00	1.00	1.00											
Habitacion (2)	Lampara	15	3						1.00	1.00	1.00					0.50					0.50	1.00	1.00	1.00	1.00			
	Televisor	90	2								1.00					1.00												
	Notebook	22	1																			1.00	1.00	1.00				
Baño	Lampara	12	1							1.00						0.50	0.50					0.30				0.50		
	Lavapipas	500	1										1.00	1.00														
Jardin	Lampara	18	2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00													0.30	1.00	1.00	1.00	1.00	
Patio	Lampara	18	2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00														0.30	1.00	1.00	1.00	1.00
	Bomba	380	1											0.30														
Energía demandada por hora [kWh]				0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.177	0.259	0.355	0.244	0.1	0.63	0.77	0.276	0.4185	0.104	0.1	0.13	0.1	0.1481	0.2166	0.239	0.207	0.183	0.132	

Figura 3: Perfil de consumo primavera-verano

Perfil Primavera-Verano				Horas del día																								
Lugar	Artefacto	Potencia [W]	Cantidad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Cocina	Lampara	15	2											0.50	0.50	0.50							1.00	1.00				
	Heladera	200	1	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.50	0.50	0.30	0.30	0.50	0.50	0.50	0.30	0.39	0.30	0.50	0.35	0.50	0.50	0.50	0.30	0.30	0.30	
Living-Comedor	Lampara	15	2												0.50	0.50								1.00	1.00			
	Batidora	300	1															0.08										
	Televisor	110	1														1.00							1.00	1.00			
Habitacion (2)	Lampara	15	3							0.50						0.30						0.50				0.50		
	Televisor	90	2																						1.00	1.00		
	Notebook	22	1																				1.00					
Baño	Lampara	12	1							0.25	0.25						0.25					0.25				0.25		
	Lavapipas	500	1										1.00	1.00														
Jardin	Lampara	18	2	1.00	1.00	1.00	1.00																			1.00	1.00	
Patio	Lampara	18	2	1.00	1.00	1.00	1.00																				1.00	1.00
	Bomba	380	1											0.50													0.50	
Energía demandada por hora [kWh]				0.132	0.132	0.132	0.132	0.06	0.06	0.126	0.103	0.25	0.56	0.615	0.130	0.130	0.187	0.101	0.060	0.100	0.070	0.338	0.1	0.27	0.41	0.338	0.132	

Utilizando estos datos se realizan los gráficos de consumo en función de la hora del día.

Figura 4: Perfil de demanda energética otoño-invierno

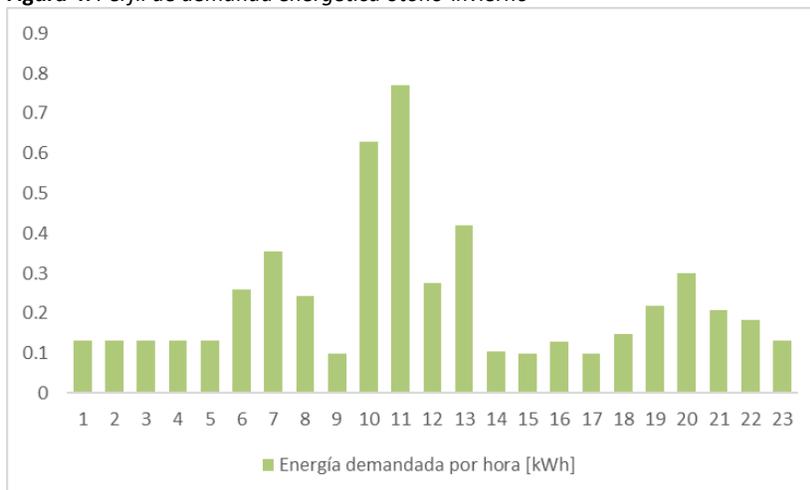
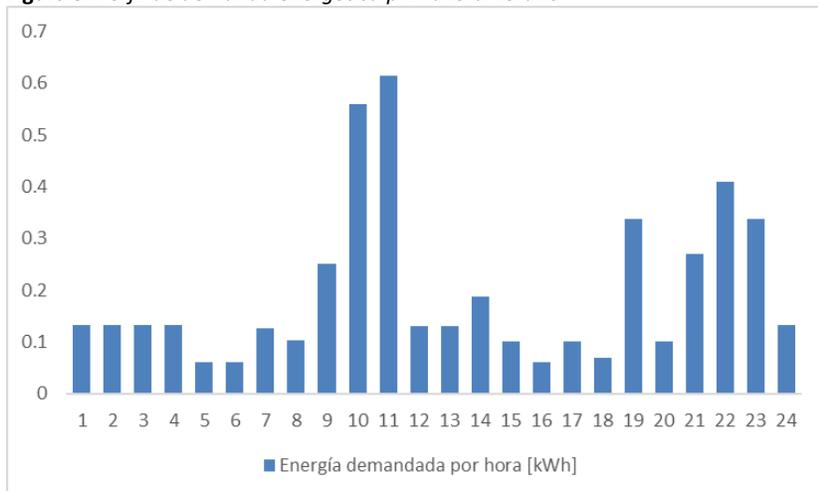


Figura 5: Perfil de demanda energética primavera-verano

La demanda energética diaria en otoño invierno es 5.334 kWh y en primavera- verano 4.666 kWh. Estas demandas diarias se dividen en 2 y se satisfacen de manera equivalente mediante ESF y EE.

- Planilla ESF

Partiendo del perfil de consumo dado, la descripción de cálculo de esta planilla se realiza en las siguientes etapas: comparación del recurso energético solar, detalle del cálculo del ángulo óptimo de inclinación y diseño de banco de acumuladores y módulo de paneles solares.

Comparación del recurso energético solar (plano horizontal vs plano inclinado)

En la tabla 2 pueden observarse datos provenientes de la NASA acerca de la radiación sobre plano horizontal en la ciudad de Rio gallegos, Santa Cruz, Argentina. (Latitud: -51.633°, longitud: -69.217°). [3]

Tabla 2: Irradiación sobre plano horizontal

Mes	Ht [kWh/m ² .dia]
Enero	5.54
Febrero	4.71
Marzo	3.44
Abril	2.06
Mayo	1.15
Junio	0.76
Julio	0.89
Agosto	1.66
Septiembre	2.97
Octubre	4.47
Noviembre	5.51
Diciembre	5.75

Una vez obtenidos los datos de HPS sobre plano horizontal, se desea saber de qué manera podríamos optimizar la captación solar de los paneles considerando un determinado ángulo de inclinación. Se trabaja con la herramienta solver de Excel que se encarga de buscar el valor máximo de horas pico solares para cada mes en dependencia del ángulo de inclinación de paneles solares con 0° de Azimut, es decir, orientados hacia el norte geográfico.

Se utilizan planillas de Excel pregrabadas en las que uno debe completar los datos de HPS, el mes del año en el que nos posicionamos, y el día representativo que refleja de mejor manera las características promedio del mes, para luego utilizar la herramienta solver.

La optimización se realiza de manera mensual, estacional y anualmente.

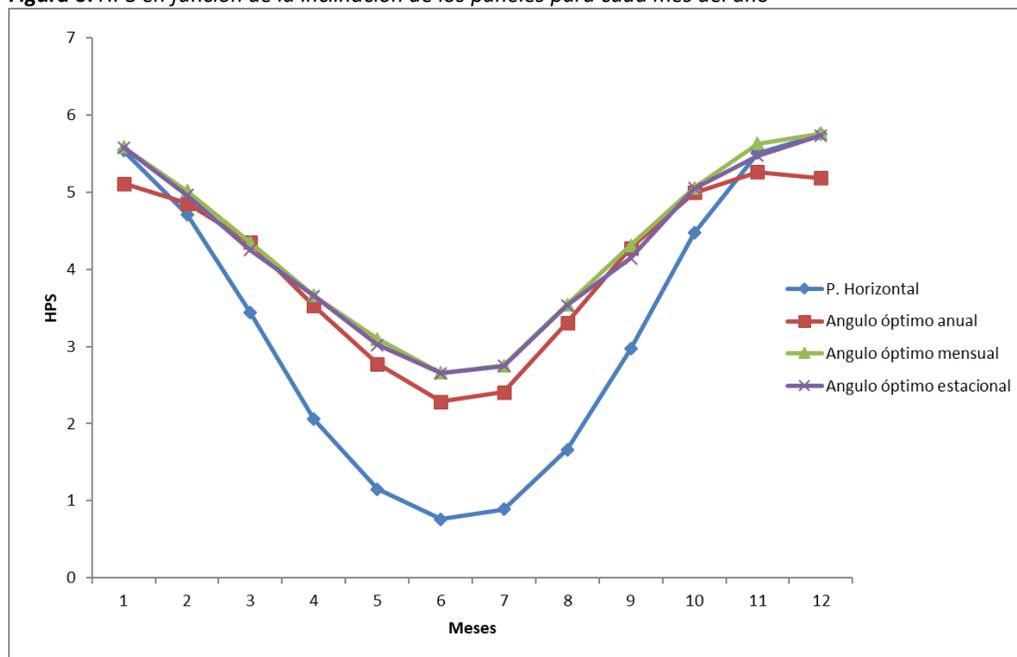
Tabla 3: Comparación de HPS entre plano horizontal e inclinado

Mes	HPS					
	Plano horizontal	Plano inclinado mensual	Ángulo de inclinación	Plano inclinado estacional	Ángulo de inclinación	Plano inclinado anual (-45.5°)
Enero	5.54	5.59	-11.5	5.58	-15.2	5.11
Febrero	4.71	5.02	-26.6	4.96	-15.2	4.86
Marzo	3.44	4.35	-45.2	4.25	-60.0	4.35
Abril	2.06	3.66	-62.9	3.66	-60.0	3.52
Mayo	1.15	3.10	-73.7	3.02	-60.0	2.77
Junio	0.76	2.66	-77.8	2.65	-73.7	2.29
Julio	0.89	2.75	-76.1	2.75	-73.7	2.41
Agosto	1.66	3.54	-68.4	3.53	-73.7	3.31
Septiembre	2.97	4.31	-53.8	4.14	-35.6	4.28
Octubre	4.47	5.05	-34.6	5.05	-35.6	4.99
Noviembre	5.51	5.63	-17.0	5.47	-35.6	5.26
Diciembre	5.75	5.76	-6.6	5.74	-15.2	5.18

En la tabla 3 pueden verse las mejoras obtenidas en HPS al realizar inclinaciones correspondientes de los paneles solares para cada periodo del año. Si bien es cierto que se obtienen mejoras en cuanto a la captación de energía, también el modificar el ángulo de inclinación de todos los paneles del emplazamiento por periodo implica un trabajo extra por parte del usuario.

En la figura 6 puede observarse un gráfico comparativo de las HPS en función de la inclinación de los paneles para cada mes del año.

Figura 6: HPS en función de la inclinación de los paneles para cada mes del año



Detalle del cálculo del ángulo óptimo de inclinación

En este apartado se realiza una breve descripción de la memoria de cálculo del ángulo de inclinación mediante planillas de Excel.

En la siguiente figura puede observarse la sección de la planilla donde se cargan los datos de radiación sobre plano horizontal y se realiza un cambio de unidades.

Figura 7: Carga de datos iniciales

Días acumulados	Día medio	Promedio diario mensual (Rio Gallegos) [MJ/m ² .día]	[KWh/m ²]	[MJ/m ²]
0	17.1	19.9	5.54	19.9
31	47.2	17.0	4.71	17.0
59	76	12.4	3.44	12.4
90	105.5	7.4	2.06	7.4
120	134.6	4.1	1.15	4.1
151	160.8	2.7	0.76	2.7
181	197.9	3.2	0.89	3.2
212	226.9	6.0	1.66	6.0
243	256.3	10.7	2.97	10.7
273	285.6	16.1	4.47	16.1
304	315.9	19.8	5.51	19.8
334	343.3	20.7	5.75	20.7

Aquí vemos el espacio de carga de datos acerca de la localidad tales como longitud y latitud, además, previo a realizar la optimización del ángulo de inclinación mes a mes se carga el día representativo de cada mes que se observa en la imagen anterior.

Figura 8: Datos pertenecientes a la localidad

Calculo de la energía recibida por un plano inclinado

Día=>	16.2	
Mes=>	2	
Latitud (°) =>	-51.63	Latitud (rad)
Longitud (°) =>	-69.22	Longitud (rad)
Corrección Horaria=>	-1	
ángulo de inclinación del plano(°) =>	-35.55227249	Negativo en el hemisferio Sur (+hacia el Este; - hacia el Oeste)
ángulo azimutal de orientación del plano (°) =>	0	
albedo (□) =>		0.3
Número de días=>	47.2	
Día medio mensual=>	47.2	
B (°) =	-33.7369863	B (rad) =
Declinación(°) =	-12.88723464	Declinación (rad)=
E(min)=	-14.52990742	
E(horas)=	-0.242165124	

Luego nos dirigimos a la pestaña datos, y en ella se encuentra la herramienta a utilizar llamada solver, y en objetivo se selecciona el promedio acumulado mensual de radiación en el plano inclinado y obtenemos el ángulo óptimo.

Figura 9: Pestaña solver

Parámetros de Solver

Establecer objetivo: 

Para: Máx Min Valor de:

Cambiando las celdas de variables: 

Sujeto a las restricciones:

Convertir variables sin restricciones en no negativas

Método de resolución:

Método de resolución

Seleccione el motor GRG Nonlinear para problemas de Solver no lineales suavizados. Seleccione el motor LP Simplex para problemas de Solver lineales, y seleccione el motor Evolutionary para problemas de Solver no suavizados.

Si lo que se desea es buscar un ángulo óptimo estacional o anual en la pestaña del solver nuestro objetivo es la suma de los promedios acumulados mensuales correspondientes de radiación en el plano Inclinado.

Diseño de banco de acumuladores y módulo de paneles solares

La tensión del banco es 24V y en el diseño se contempla una autonomía del sistema de dos días.

Las baterías que se instalan en el banco son las Trojan SPRE 06 255 de plomo-ácido. Estas baterías tienen un voltaje de 6 V por lo que su string mínimo es 4 y su nivel de descarga del 40 %. Su precio es de 300 U\$D.

Los paneles solares son de 300W de potencia pico y su voltaje óptimo operativo es de 32.8 V, superior a la tensión del banco. Esto implica que no sea necesario colocar paneles en serie. Su precio es 170 U\$D.

En cuanto al regulador y convertor serán genéricos de eficiencia ambas del 95 %, y precio 200 y 300 U\$D, respectivamente.

El cálculo del número de paneles se realiza con la siguiente fórmula:

$$N = \frac{CE.FS}{PPP.HPS.ES}$$

Donde N=número de paneles solares, CE=consumo energético diario promedio, FS=factor de seguridad (1,15), PPP=potencia pico de los paneles (300W), HPS=horas pico solares y ES=eficiencia del sistema (Ef. Regulador x Ef. Convertor x Ef. Batería = 0,95.0,95.0,8=0,722)

Para el cálculo del número de baterías se utiliza la siguiente ecuación:

$$NB = \frac{CE.T}{CAP.VOLT.ND.EC}$$

Donde NB=número de baterías, CE: Consumo energético diario promedio, T=días sin generación, CAP=capacidad de las baterías (226Ah), VOLT=tensión de las baterías (6V), ND=nivel de descarga (40%) y EC=eficiencia del convertor.

Se asume inclinación estacional. En la siguiente tabla se observan los resultados.

Tabla 4: Dimensionamiento sistema fotovoltaico

Mes	Ht [kWh/m ² .dia]	HPS [h] ángulo óptimo estacional	CE [Wh]	NP	NB
Enero	5.54	5.58	2333	2.22	9.06
Febrero	4.71	4.96	2333	2.50	9.06
Marzo	3.44	4.25	2667	3.33	10.35
Abril	2.06	3.66	2667	3.87	10.35
Mayo	1.15	3.02	2667	4.69	10.35
Junio	0.76	2.65	2667	5.34	10.35
Julio	0.89	2.75	2667	5.15	10.35
Agosto	1.66	3.53	2667	4.01	10.35
Septiembre	2.97	4.14	2333	2.99	9.06
Octubre	4.47	5.05	2333	2.45	9.06
Noviembre	5.51	5.47	2333	2.26	9.06
Diciembre	5.75	5.74	2333	2.16	9.06
			Total	6	12

La conexión de los paneles será en paralelo. En el banco de acumuladores tendremos 12 baterías en total, su string mínimo es de 4 por lo que su conexión será de 3 líneas en paralelo de 4 baterías cada una.

Se considera el precio dólar del mes de octubre del 2020 (1 U\$D=88 \$).

Tabla 5: Costos aproximados del emplazamiento

	Paneles	Baterías	Inversor	Regulador	Total
Unidad [U\$D]	170	300	300	200	-
Emplazamiento [U\$D]	1,020	3,600	300	200	5,120
Costo [\$]	89,760	316,800	26,400	17,600	450,560

- Planilla EE

Se parte del perfil de consumo dado y se diseña el emplazamiento eólico para satisfacer el 50 % de la demanda.

En la hoja "ENERGIA" se colocan datos identificatorios del proyecto, descripción y características del sitio e información del perfil del consumo. En la siguiente figura pueden observarse estos datos.

Figura 10: Datos iniciales EE



H-1

CALCULO DE INSTALACIONES EÓLICA - BAJA POTENCIA
RBOliva-2020

NOMBRE PROYEC: Proyecto final F. Lazcano

FECHA: 12/7/2021 14:55 **Rev:** 12/7/2021 14:55

UBICACIÓN: Rio Gallegos - Santa Cruz

APLICACIÓN: Hogar

TEMPORADA USO: Todo el año

NOTAS REVISION: _____

0. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR:

1. DISPONE DE LÍNEA CERCANA (\$/N): \$

1a. CANTIDAD DE KM DE LÍNEA: _____

2. DISPONE DE GENERADOR DIESEL/NAFTER N _____

2a. CARACTERÍSTICAS: _____

2b. HORARIO DE ENCENDIDO DIESEL: _____

3. % ESPERADO DE CRECIMIENTO DE CONSUMO EN: _____ **AÑOS**

4. EXISTE RED ELÉCTRICA INSTALADA? \$

4a. TENSIÓN DE INSTALACIÓN INSTALADA 220V

4b. INVERSOR INSTALADO (\$/N) N **SI ES ASÍ, CARACTERÍSTICAS:** _____

4c. REQUIERE INVERSOR? \$

4c1. CON CARGADOR? \$

En la parte superior de la hoja "Cálculo de Baterías" se ingresan los parámetros del banco de baterías, rendimiento, nivel de descarga, tensión, tensión de banco, string mínimo, entre otros. En la siguiente figura pueden visualizarse estos parámetros.

Figura 11: Parámetros del banco de baterías

H-2

Calculo de Baterías - Equipo con Inversor

Proyecto: *Proyecto final*

Fecha: *12/7/2021 14:55*

Revisión: *B*

Parametros:

Capacidad Nominal Bat.	$Cap_{bat} [Ah]$	220.00	
Tension Batería	$V_{bat} [V]$	6.00	
Tension Trabajo CC	$V_{sis} [V]$	24.00	(12,24,48V)
Cantidad Bat. en SM	$SM[]$	4.00	(String Mínimo)
Rendimiento Regulador	$\eta_R []$	95.00%	
Rendimiento Baterías	$\eta_B []$	80.00%	
Rendimiento Inversor	$\eta_I []$	95.00%	Fte.: Planilla Inversor
Nivel de Descarga	$N_{desc} []$	40.00%	(Recom.->30 a 40%)

Luego, en la sección de variables para cálculo diario se ingresan la cantidad estimada de días sin viento máxima y mínima.

Lo que se hace en esta hoja es tomar el consumo energético CE de H-1 y afectarlo a los rendimientos de los elementos del sistema para calcular, en función de los parámetros de la batería utilizada, la cantidad de baterías mínima y máxima con las que debe contar el banco, la elección queda en las manos del usuario.

Figura 12: Cálculos realizados en hoja H-2

Tipo de Batería:

Trojan SPRE 06 225 (ver link mas abajo)

Calculos:

Energía de SM

$$ESM = SM * CAP * V_{bat} * N_{desc} \quad 2112.00 \text{ Wh/SM}$$

Consumo Diario Afectado de Rendimientos:

$$Cdt = C_E / (\eta_R \eta_B \eta_I) \quad 3694.05 \text{ Wh/dia}$$

Consumo Con T días sin viento:

$$CTM = Cdt * T_{sin \text{ viento (max)}} \quad 7388.11 \text{ Wh}$$

$$CTm = Cdt * T_{sin \text{ viento (min)}} \quad 3694.05 \text{ Wh}$$

Cantidad de Baterías (de maxima)

$$NSM = CTM / ESM \quad 3.50 \text{ SMs}$$

$$NSMa = INT(NSM) \quad (\text{entero máximo}) \quad 4 \text{ SMs}$$

$$NB(M) = NSMa * SM \quad 16 \text{ Baterías}$$

Cantidad de Baterías (de minima)

$$NSm = CTm / ESM \quad 1.75 \text{ SMs}$$

$$NSMi = INT(NSm) \quad (\text{entero mínimo}) \quad 2 \text{ SMs}$$

$$NB(m) = NSMi * SM \quad 8 \text{ Baterías}$$

ELECCION DE BATERIAS

Precio Unitario final / estimado 10-2020 \$26,406.00 pesos

CANTIDAD ELEGIDA 8 **Baterías** (valor q va a hoja Costos Aproximados)

En la hoja "Cálculo de Aerogenerador" se toma como base la generación mensual medida en la zona sur de la provincia de Santa Cruz para un aerogenerador de 1 kW. Los resultados indican el número mínimo de aerogeneradores necesario para satisfacer el consumo energético afectado a los rendimientos de los elementos del emplazamiento.

Figura 13: Resultados hoja H-3
Para cubrir la demanda Cdt

Mes	Nº Aeros	Entero Mínimo
Enero	0.72	1
Febrero	0.69	1
Marzo	0.81	1
Abril	0.79	1
Mayo	0.92	1
Junio	0.92	1
Julio	0.91	1
Agosto	0.87	1
Setiembre	0.86	1
Octubre	0.81	1
Noviembre	0.72	1
Diciembre	0.73	1

<http://www.giacobone.com/servicios/soluciones-energeticas/energia-eolica/>

ELECCION DE AEROGENERADORES		
Tensión de Trabajo (Definida en Baterías)	24.00	Volts
Distancia Aprox. desde Torre a Tablero	50.00	metros (valor q va a hoja Costos Aproximados)
Costo Unitario Aprox. / 2020 (aprox. usd3000b)	\$270,000.00	pesos (valor q va a hoja Costos Aproximados)
CANTIDAD ELEGIDA	1	Aeros (valor q va a hoja Costos Aproximados)

En la hoja H-4 se realiza la selección del inversor encargado de transformar la corriente continua del emplazamiento en corriente alterna de uso doméstico. Entre los datos se selecciona “Enertik ICB-2K-24” con un costo aproximado de \$42350 y un rendimiento del 95 %.

Figura 14: Datos de la hoja cálculo inversor
Para cubrir la demanda de Potencia

Ingresar Datos

Modelo elegido:	Enertik ICB-2K-24	24
Tensión Nominal:	24.00	(Copiar de tabla)
Potencia Nominal:	2000.00	(Copiar de tabla)
Potencia Pico:	4000.00	(Copiar de tabla)

Cálculos

% de Pot. Nominal Cubierta:	169.35%	(Preferentemente >100%)
% de Pot. Pico Cubierta:	171.53%	(Preferentemente >100%)

ELECCION DE INVERSOR			(10/2020)
Tensión de Trabajo (Definida en Baterías)	24.00	Volts	
Modelo Inversor (definido en Ingresar Datos)	Enertik ICB-2K-2	24	(valor q va a hoja Costos Aproximados)
CANTIDAD ELEGIDA	1.00	Inversor/es	(valor q va a hoja Costos Aproximados)
Tipo de Cambio (Si es en \$ poner 1)	1.00	(\$/u\$)	
COSTO (DE TABLA)	\$ 42,350.00	pesos	(valor q va a hoja Costos Aproximados)

Finalmente, en la hoja “Costos Aproximados” se realiza una aproximación del costo del emplazamiento eólico considerando una torre de 12 m reticulada e incluyendo los gastos del flete, instalación y cableado.

Figura 15: Resultados del ejercicio

Resumen de Datos del Proyecto y Selecciones:

Energía Diaria Demandada	2667.11	Wh	Planilla Energía
Tensión de Trabajo Sistema CC:	24.00	Volts	Planilla Baterías
N° de Baterías Requerido:	8	Unidades	Planilla Baterías
Cantidad de Aerogeneradores + Torre + Cableado:	1	Unidades	Planilla Aerogenerador
Distancia en Metros de Aerog. a Tablero:	50	metros	Planilla Aerogenerador
Inversor: Cantidad en Circuitos Separados	1	Unidades	Planilla Inversor
Inversor: Potencia Nominal Requerida	1181.00	W	Planilla Energía
Inversor: Potencia Pico Requerida	2332.00	W	Planilla Energía
Tipo de Inversor	Enertik ICB-2K-24	-	Planilla Inversor

CANTIDAD	DESCRIPCION	Precio Unitario	Precio Total	IVA 21% incluido	\$ A PAGAR c/IVA incl.
1	AEROGENERADORES EOLUX	270000.00	270000.00	0.00	270000.00
1	TORRES TIPO RETICULADO 12m	105000.00	105000.00	0.00	105000.00
1	MONTAJES-CABLES-BASES	37500.00	37500.00	0.00	37500.00
50	MTS totales CABLEADO EXTERIOR SINTENAX	370.00	18500.00	0.00	18500.00
8	Trojan SPRE 06 225	26406.00	211248.00	0.00	211248.00
1	Enertik ICB-2K-24	42350.00	42350.00	0.00	42350.00
1	FLETES, INSTALACION Y GASTOS ADMIN.	30000.00	30000.00	0.00	30000.00
TOTAL CON IMPUESTOS					714598.00

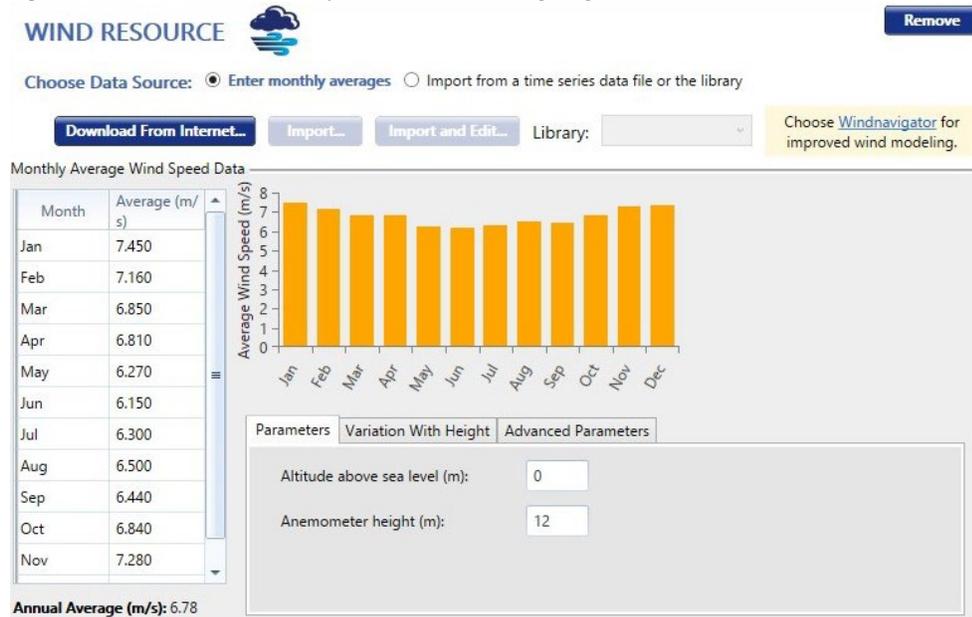
- Simulación en Homer Pro

Para la simulación del emplazamiento en el Homer se comienzan cargando los datos de los recursos extraídos de la página de la NASA.

Figura 16: Recurso solar para la ciudad de Rio gallegos



Figura 17: Recurso eólico a 12 m para la ciudad de Rio gallegos



En las siguientes figuras se observan los datos del perfil de consumo cargados en el programa.

Figura 18: Carga de datos del consumo energético

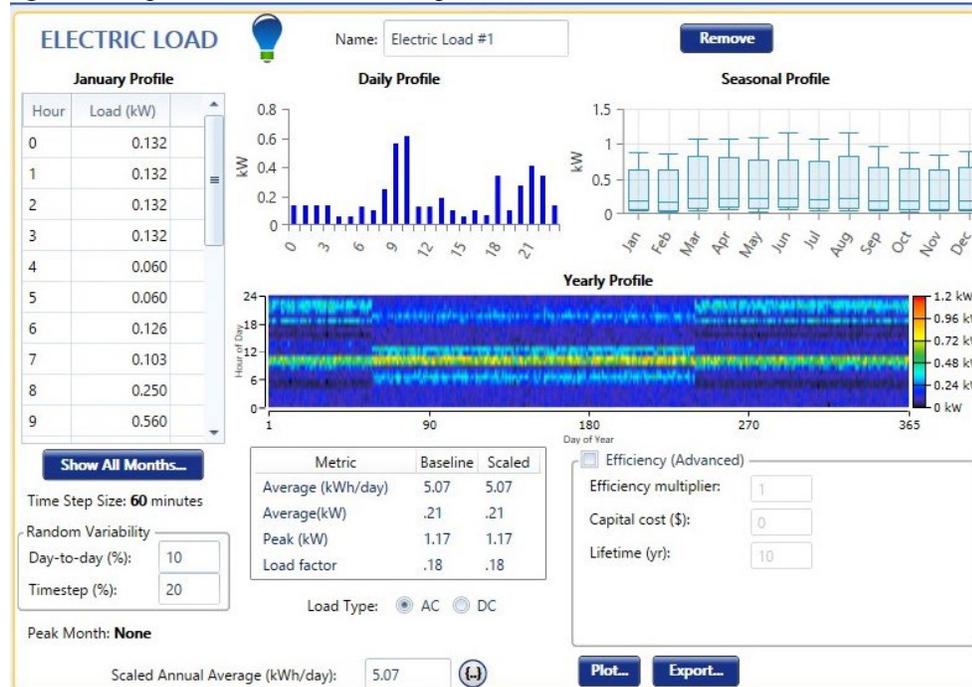


Figura 19: Perfil de consumo de la vivienda

Yearly Load Data

Weekdays		Weekends										
Hour	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
0	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132
1	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132
2	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132
3	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132
4	0.060	0.060	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.060	0.060	0.060	0.060
5	0.060	0.060	0.259	0.259	0.259	0.259	0.259	0.259	0.060	0.060	0.060	0.060
6	0.126	0.126	0.355	0.355	0.355	0.355	0.355	0.355	0.126	0.126	0.126	0.126
7	0.103	0.103	0.244	0.244	0.244	0.244	0.244	0.244	0.103	0.103	0.103	0.103
8	0.250	0.250	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.250	0.250	0.250	0.250
9	0.560	0.560	0.630	0.630	0.630	0.630	0.630	0.630	0.560	0.560	0.560	0.560
10	0.615	0.615	0.770	0.770	0.770	0.770	0.770	0.770	0.615	0.615	0.615	0.615
11	0.130	0.130	0.276	0.276	0.276	0.276	0.276	0.276	0.130	0.130	0.130	0.130
12	0.130	0.130	0.419	0.419	0.419	0.419	0.419	0.419	0.130	0.130	0.130	0.130
13	0.187	0.187	0.104	0.104	0.104	0.104	0.104	0.104	0.187	0.187	0.187	0.187
14	0.101	0.101	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.101	0.101	0.101	0.101
15	0.060	0.060	0.130	0.130	0.130	0.130	0.130	0.130	0.060	0.060	0.060	0.060
16	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
17	0.070	0.070	0.148	0.148	0.148	0.148	0.148	0.148	0.070	0.070	0.070	0.070
18	0.338	0.338	0.219	0.219	0.219	0.219	0.219	0.219	0.338	0.338	0.338	0.338
19	0.100	0.100	0.299	0.299	0.299	0.299	0.299	0.299	0.100	0.100	0.100	0.100
20	0.270	0.270	0.207	0.207	0.207	0.207	0.207	0.207	0.270	0.270	0.270	0.270
21	0.410	0.410	0.183	0.183	0.183	0.183	0.183	0.183	0.410	0.410	0.410	0.410
22	0.338	0.338	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.338	0.338	0.338	0.338
23	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132

En las siguientes figuras se observan los componentes del sistema, sus características y precios.

Figura 20: Slide del panel solar

Name: LONGi Solar LR6-60

Abbreviation: LR6-60

Remove

Copy To Library

Properties

Name: **LONGi Solar LR6-60**

Abbreviation: **LR6-60**

Panel Type: **Flat plate**

Rated Capacity (kW): **1.8**

Temperature Coefficient: **-0.410**

Operating Temperature (°C): **47**

Efficiency (%): **18.3**

Manufacturer: **LONGi Solar Techn**

<http://www.lerri.com/>

Notes:
Mono. 18.2 kg. Footprint -

Cost

Capacity (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)
<input type="text" value="0.3"/>	<input type="text" value="170.00"/>	<input type="text" value="170.00"/>	<input type="text" value="10.00"/>

Lifetime

time (years): (-) More...

Sizing

HOMER Optimizer™

Search Space

kW

0

0.9

1.2

1.5

1.8

Site Specific Input

Derating Factor (%): (-)

Electrical Bus

AC DC

Advanced...

Figura 21: Slide del aerogenerador

Add/Remove Generic 1 kW

WIND TURBINE  Name: Abbreviation: Remove

Copy To Library

Properties

Name: **Generic 1 kW**

Abbreviation: **G1**

Rated Capacity (kW): **1**

Manufacturer: **Generic**

Costs

Quantity	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)
1	\$3,000.00	\$3,000.00	\$140.00

Click here to add new item

Multiplier:

Quantity Optimization

HOMER Optimizer™

Search Space

Advanced

Site Specific Input

Lifetime (years): Hub Height (m):

Consider ambient temperature effects?

Electrical Bus

AC DC

Advanced...

Figura 22: Slide del acumulador

Add/Remove Trojan SPRE 06 225

STORAGE  Name: Abbreviation: Remove

Copy To Library

Properties

Kinetic Battery Model

Nominal Voltage (V): 6

Nominal Capacity (kWh): 1.36

Maximum Capacity (Ah): 226

Capacity Ratio: 0.49

Rate Constant (1/hr): 0.376

Roundtrip efficiency (%): 80

Maximum Charge Current (A): 40

Maximum Discharge Current (A): 300

Maximum Charge Rate (A/Ah): 1

www.trojanbattery.com

Flooded lead-acid battery, Solar Premium Line

Trojan Battery Company

Cost

Quantity	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)
1	300.00	300.00	15.00

Lifetime throughput (kWh): More...

Sizing

HOMER Optimizer™

Search Space

#
0
3
4
5
6

Site Specific Input

String Size: Voltage: 24 V

Initial State of Charge (%):

Minimum State of Charge (%):

Minimum storage life (yrs): Maintenance Schedule...

Figura 22: Slide del convertor

CONVERTER  System Converter
 Complete Catalog Abbreviation:

Properties
 Name: **System Converter**
 Abbreviation: **Converter**
www.homerenergy.com
 Notes:
This is a generic system converter.

Capacity (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)
1	\$300.00	\$300.00	\$0.0

Click here to add new item

Multiplier:

Capacity Optimization
 HOMER Optimizer™
 Search Space
 Advanced

Generic
homerenergy.com 

Inverter Input
 Lifetime (years):
 Efficiency (%):
 Parallel with AC generator?

Rectifier Input
 Relative Capacity (%):
 Efficiency (%):

Figura 23: Slide del regulador

CONTROLLER  Name: Abbreviation:

Component	Min Qty	Max Qty	Bus
Generator	0	20	AC or DC
Storage	0	10	DC
PV	0	10	AC or DC
WindTurbine	0	2	AC or DC
Converter	0	1	AC or DC
Boiler	0	1	Thermal
Hydroelectric	0	1	AC or DC
Hydrokinetic	0	1	AC or DC
Reformer	0	1	Hydrogen
Electrolyzer	0	1	AC or DC
HydrogenTan	0	1	Hydrogen
Grid	0	1	AC

Cost

Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)
<input type="text" value="200.00"/>	<input type="text" value="200.00"/>	<input type="text" value="5.00"/>

Lifetime time (years):

Allow diesel-off Operation
 Allow generators to operate simultaneously
 Allow systems with generator capacity less than peak load

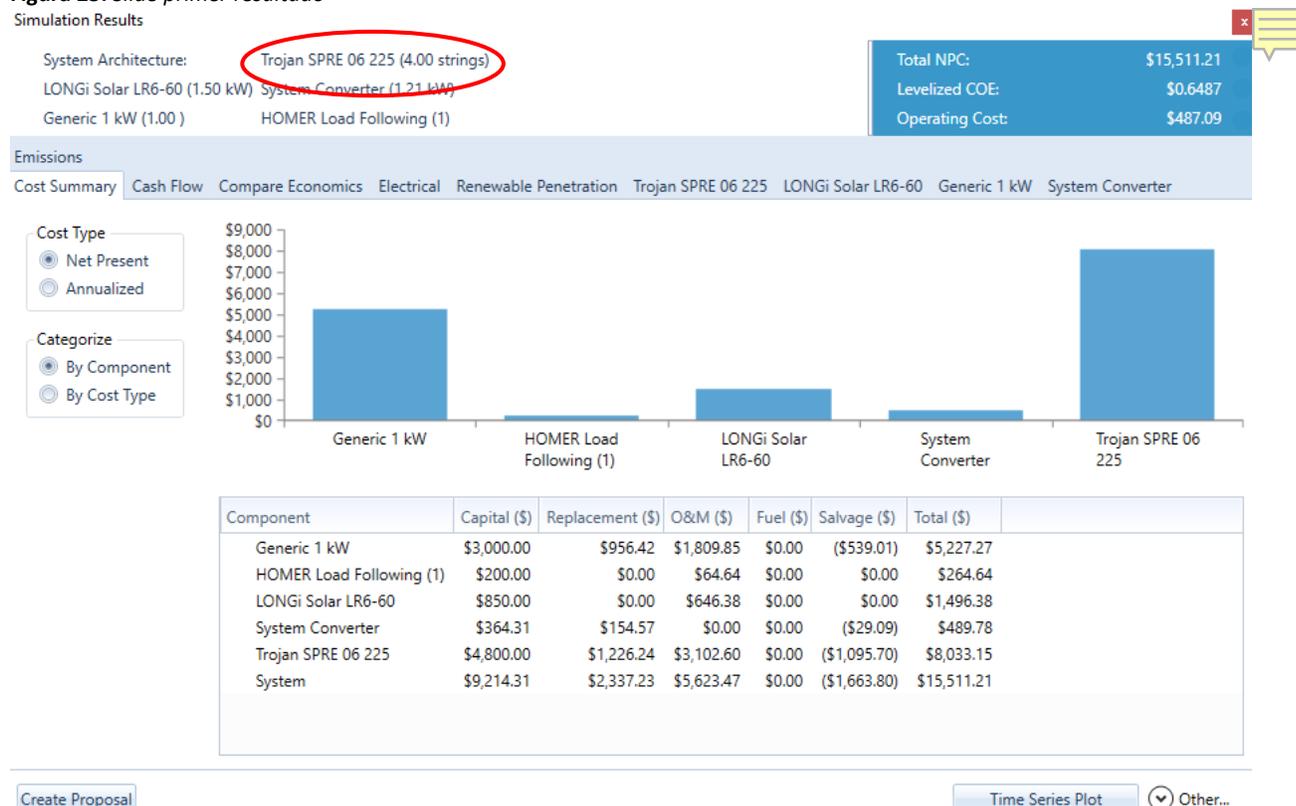
Generic
homerenergy.com 

Luego de ingresar los datos de recursos y consumos energéticos y las características y precios de los componentes del sistema, el software nos devuelve una solución optimizada para el problema.

Figura 24: Tabla de resultados

Architecture		Cost				System		LR6-60			
LR6-60 (kW)	G1	SPRE 06 225	Converter (kW)	NPC (\$)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	Capital Cost (\$)	Prod (kW)
1.50	1	16	1.21	\$15,511	\$0.649	\$487.09	\$9,214	100	0	850	1,72
	2	20	1.09	\$20,951	\$0.876	\$651.75	\$12,526	100	0		

Figura 25: Slide primer resultado



Puede observarse que el costo total de los componentes del sistema es de 9,214.31 U\$D. El total de 15,511.21 U\$D incluye los costos de mantenimiento y eventuales reemplazos.

Figura 26: Pestaña eléctrica del primer resultado

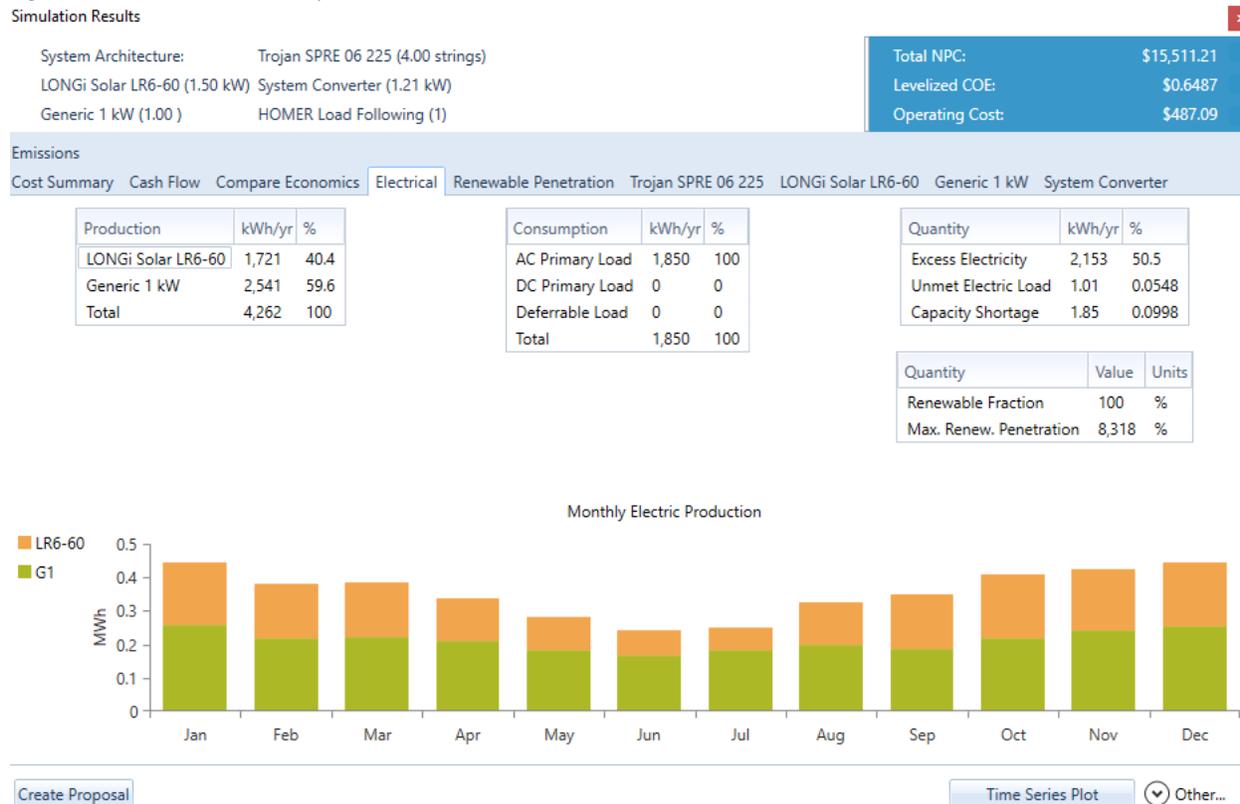
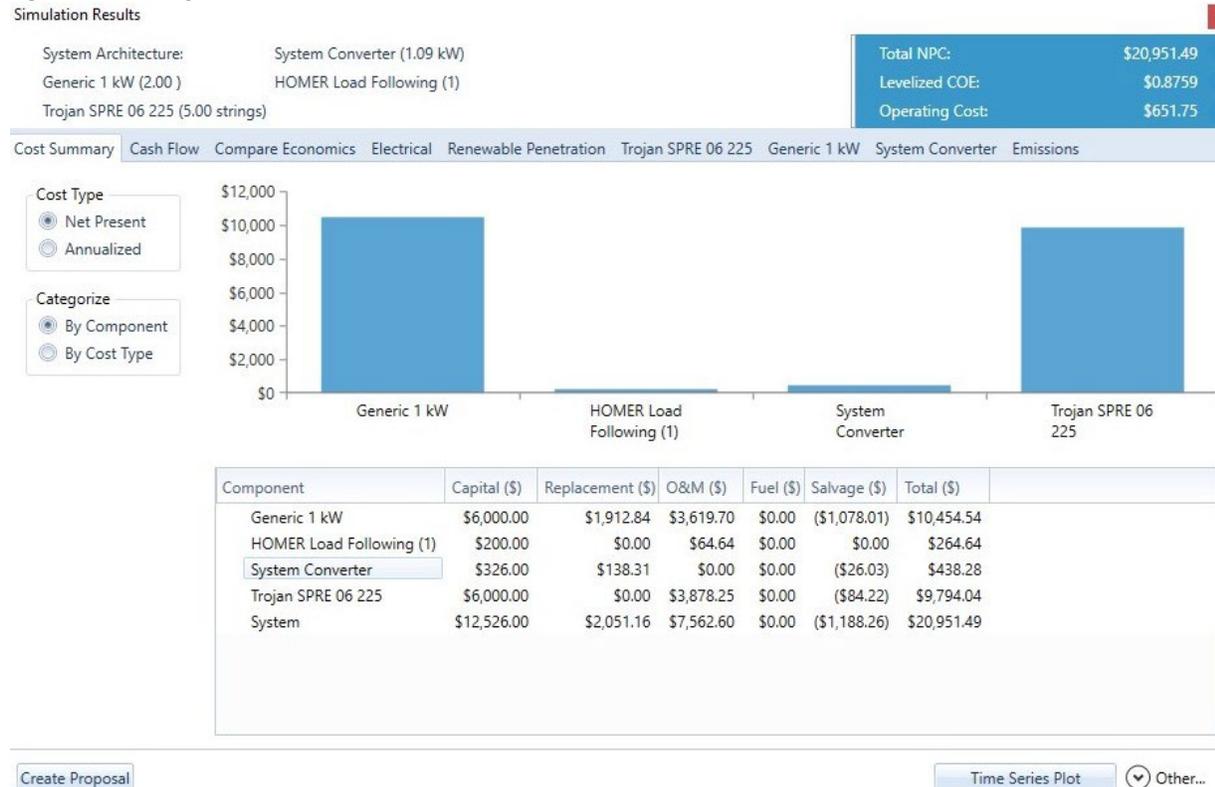


Figura 27: Slide segundo resultado



Resultados y conclusiones

En el desarrollo inicial del ejercicio utilizando las planillas Excel se diseña un emplazamiento que abastece equivalentemente la demanda energética.

Los componentes del sistema son los siguientes.

Tabla 6: Componentes del emplazamiento

Componentes	Precio [U\$D]	Precio [€]	Unidades	Precio total [€]
Panel solar LR6-60PE	170	14,960	6	89,760
Aerogenerador Eolux 24V	3,068	270,000	1	270,000
Batería Trojan SPRE 06-255	300	26,400	20	528,000
Inversor genérico (ef. 95 %)	300	26,400	1	26,400
Regulador genérico (ef. 95 %)	200	17,600	1	17,600
Torre 12 m (reticulado)	1,193	105,000	1	105,160
Montajes, cables, bases	426	37500	1	37,500
Cableado exterior SINTENAX/m	4.2	370	50	18,500
Fletes, instalación y gastos admin.	340	29,920	1	29,920
			Total	1,122,840

El emplazamiento cuenta con 6 paneles solares conectados en paralelo, 20 baterías de 6 V y como la tensión de banco es 24 V el string mínimo es 4 y su conexión es 5 líneas de 24 V en paralelo y en cada una de ellas 4 baterías en serie y un aerogenerador ubicado a 50 m del tablero. Los demás componentes se especifican en la tabla 6.

La dimensión de cada panel solar es de 1.65x0.991 m² por lo que el sector donde se instalen los paneles solares debe tener un espacio mínimo de 12 m².

El costo total del montaje del emplazamiento es de \$1,122,840. Cabe destacar que este es un valor aproximado.

En la siguiente tabla se observan los resultados de la simulación en HOMER Pro.

Tabla 7: Comparación económica de los resultados obtenidos

Componentes	Costo [U\$D]	Resultado 1	Total [U\$D]	Resultado 2	Total [U\$D]
Panel solar LR6-60PE	170	5	850	0	0
Aerogenerador genérico 1 kW	3,000	1	3,000	2	6,000
Batería Trojan SPRE 06-255	300	16	4,800	20	6,000
Inversor genérico	300	1	300	1	300
Regulador genérico	200	1	200	1	200
Total			9,150		12,500

El costo total de los componentes de la instalación 1 es \$805,200 y de la instalación 2 \$1,100,000. Se observa que la aproximación realizada con las planillas de Excel es similar a los resultados de la simulación.

Para realizar la elección entre los dos sistemas propuesto se debería analizar no solo los costos de cada uno de ellos sino también las energías de las que éstos dependen. La instalación 1 es un emplazamiento híbrido que trabaja tanto con energía solar fotovoltaica como energía eólica por lo que pueden complementarse en el caso de días sin alguno de los dos recursos. En cambio, la instalación 2 depende únicamente de la energía eólica, implicando limitaciones en el modelo en cuanto a su versatilidad.

De ésta manera se satisface la demanda energética de la vivienda con un 100% de energías renovables, no obstante, es recomendable contar con un generador eléctrico debido a eventuales fallas que puedan ocurrir dentro del sistema.

Bibliografía

[1] Çengel, Y. A.; Boles, M. A.; and Apraiz Buesa, I. Termodinámica. Mc Graw Hill Education: Mexico D.F 2014.

[2] Jarabo Friedrich, F. El libro de las energías renovables. S.A.P.T: Madrid 1991.

[3] Datos de la NASA. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>