

2019

Trabajo Final: energía solar fotovoltaica/eólica: “ Tu Hogar Autosustentable”



Autor: Candeias, Sebastián

Cátedra: Energías Renovables

Profesores a cargo: Mg. Ing. Rafael Oliva

Ing. Jorge Lescano

MEMORIA DESCRIPTIVA

En este trabajo se trata la utilización de las energías renovables solar fotovoltaica y eólica para cubrir la demanda energética en una casa en la que vive una familia de cuatro personas.

Dicha casa consta de 7 habitaciones: la cocina, el living/comedor, tres habitaciones, dos baños. También tiene un patio exterior.

Entre los electrodomésticos y artefactos que se pueden encontrar se tienen:

- Horno eléctrico
- Microondas
- Heladera
- Lavarropas
- Secador de ropa centrífugo
- Computadora de escritorio
- Tres notebooks
- Un televisor
- Tres Ventiladores
- Una plancha
- Una Bomba de agua
- Tres Veladores
- Una aspiradora
- Cuatro celulares
- Un rúter
- Un reloj de pared
- Una afeitadora
- Una batidora
- Una campana extractora de gases

- Luminarias LED (dos en la cocina/comedor, una en el living, una en cada habitación, una en el baño) y cuatro luces LED para el exterior de la casa y una para el Garaje.

La casa está situada en la ciudad de Caleta Olivia, Norte de la provincia de Santa Cruz. Dicho sitio, se caracteriza por tener, durante los meses de primavera y verano, una buena disponibilidad de recurso eólico y una cantidad de horas de luz apreciable para aprovechar la energía obtenida a partir de paneles fotovoltaicos.

Algo a tener en cuenta es que el proyecto “Tu Hogar Autosustentable” no es aislado sino que está conectado a la red. Esto permite disminuir la inversión inicial y costos de mantenimiento puesto que no son necesarias las baterías para almacenar energía ni el generador para cubrir la demanda energética, además de que se puede contar con energía eléctrica en temporadas de baja disponibilidad del recurso eólico.

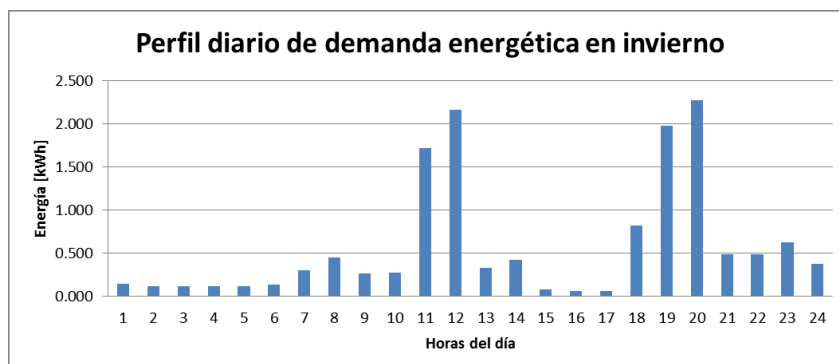
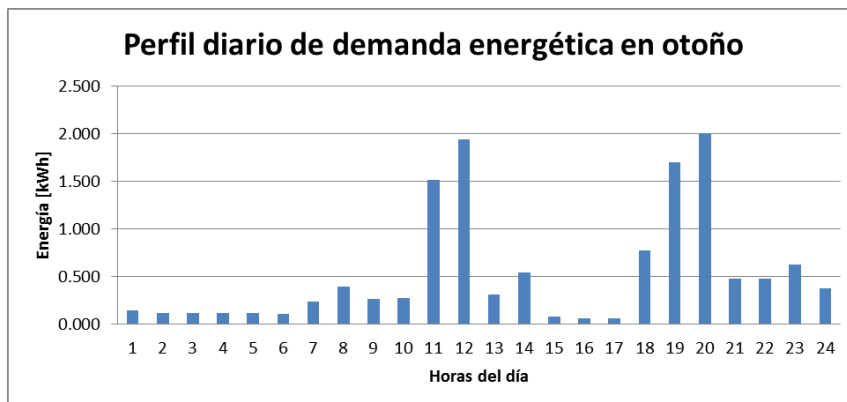
MEMORIA DE CÁLCULO

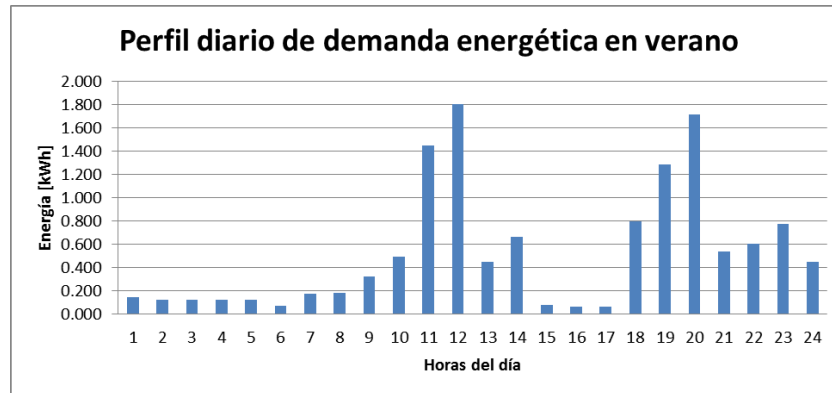
Cálculos en planillas Excel

Lo primero que se hizo fue un cálculo grueso de la cantidad de paneles solares y baterías que necesitaría el sistema para cubrir la demanda energética de la casa. Esto mediante una planilla Excel.

Se realizó un perfil de consumo estacionario considerando cada uno de los artefactos dentro de la casa.

A continuación se muestran las curvas de demanda que arrojó Excel para cada estación:





En la pestaña de Radiación de plano inclinado, se llenó los valores de radiación promedio de plano horizontal con los obtenidos de la página de la NASA (powerlarc) mediante las coordenadas geográficas de latitud y longitud.

Luego considerando que se inclinan los paneles una vez por mes, se hizo el cálculo de la radiación máxima obtenible por mes, ajustando el ángulo de los paneles de tal forma que fuera el óptimo. Esto se hizo mediante la función “solver” para cada mes (del 1 al 12).

Los doce valores obtenidos se insertaron en la columna de “horas pico solares” (HPS) de la pestaña “planilla” del archivo Excel.

Dentro de la misma pestaña, se llenó la columna de CE (consumo energético) con los valores de demanda diaria promedio estacional. Y, como el

50% de la demanda se cubriría con energía proveniente de paneles fotovoltaicos, se dividió a la mitad cada uno de los valores de demanda energética estacional.

Tomando la potencia pico del panel de 300W, capacidad de batería de 210 Ah, tensión de la batería de 12V, nivel de descarga de 40%, dos días sin generación y eficiencias de 0.95, 0.80 y 0.92 para el regulador, baterías y el inversor, respectivamente, y un factor de seguridad de 1.15 se obtuvo que la cantidad de paneles fotovoltaicos necesarios para abastecer el 50% de la demanda energética mensual es de 12 y el número de baterías de 16.

MES	Nº DIAS	HPS (sobre plano inclinado óptimo)	CE= PM* TU	ES	NP=CE*FS / (PPP*HPS*ES) a 60°	NB
ENERO	31	6.87684522	6287.96667	0.6992	5.01	13.56
FEBRERO	28	6.29289815	6287.96667	0.6992	5.48	13.56
MARZO	31	5.27728712	6409.3	0.6992	6.66	13.82
ABRIL	30	4.47556786	6409.3	0.6992	7.85	13.82
MAYO	31	3.62855901	6409.3	0.6992	9.68	13.82
JUNIO	30	3.27545715	6956.975	0.6992	11.64	15.00
JULIO	31	3.54909707	6956.975	0.6992	10.75	15.00
AGOSTO	31	4.20180986	6956.975	0.6992	9.08	15.00
SEPTIEMBRE	30	4.80870564	6202.6	0.6992	7.07	13.38
OCTUBRE	31	5.6226388	6202.6	0.6992	6.05	13.38
NOVIEMBRE	30	6.50746769	6202.6	0.6992	5.23	13.38
DICIEMBRE	31	6.97547436	6287.96667	0.6992	4.94	13.56

En la planilla Excel de energía eólica, se calculó la cantidad de molinos para cubrir el 50% restante de la demanda energética y el costo total del sistema de generación eólico. Se trabajó con la mayor demanda energética obtenida en la planilla anterior que era la de invierno.

La tabla que se presenta a continuación muestra el consumo de cada uno de los artefactos y el total de invierno, la potencia nominal requerida y la máxima.

5. CONSUMOS

CANTIDAD	DESCRIPCION	POTENCIA POR DISPOSITIVO [W]	POTENCIA TOTAL [W]	FACTOR DE PICO	PICO DE POT. PEOR CASO [W]	HORAS USO/DIA	ENERGIA [Wh]
1	Heladera	200.0	200.0	3.0	600.0	7.2	1440.0
1	Microondas	1000.0	1000.0	1.0	1000.0	0.4	440.0
1	Lavarropas semiautomático	400.0	400.0	1.0	400.0	0.6	232.0
1	Horno Eléctrico	2000.0	2000.0	1.0	2000.0	3.2	6400.0
1	Campana de extracción	200.0	200.0	2.5	500.0	1.2	240.0
1	Baldora	250.0	250.0	1.0	250.0	0.2	50.0
1	Televisor	150.0	150.0	2.0	300.0	6.8	1020.0
1	PC de escritorio	400.0	400.0	2.0	800.0	3.0	1200.0
1	Router/módem	50.0	50.0	1.0	50.0	3.5	175.0
1	Reloj	2.0	2.0	1.0	2.0	24.0	48.0
1	Ventilador	100.0	100.0	2.5	250.0	0.0	0.0
1	Bomba elevadora	350.0	350.0	2.5	875.0	1.0	350.0
1	Plancha	1000.0	1000.0	1.0	1000.0	0.5	500.0
1	Secador centrífugo	400.0	400.0	1.0	400.0	0.5	200.0
1	Afeitadora	15.0	15.0	1.0	15.0	0.2	2.6
3	Notebook	40.0	120.0	1.5	180.0	3.0	360.0
3	Velador	10.0	30.0	1.0	30.0	0.4	12.0
4	Cargador de celular	5.0	20.0	1.0	20.0	2.0	40.0
1	Aspiradora	1200.0	1200.0	2.5	3000.0	0.3	360.0
8	Lámpara Led de interior	8.0	64.0	1.0	64.0	5.0	320.0
5	Lámpara Led de exterior	11.0	55.0	1.0	55.0	13.0	715.0
TOTAL			8006.00		11791.00		14104.55

CONSUMO ESTIMADO (C_e)	7052.28	[Wh/dia]	
POTENCIA NOMINAL REQUERIDA S/C.A	4003.00	[W]	Simultaneidad supuesta 100% (Peor Caso)
POTENCIA MÁXIMA REQ. S/C.A.	5895.50	[W]	Simultaneidad supuesta 100% (Peor Caso)

En las siguientes imágenes se muestra un resumen de todos los cálculos hechos en la planilla Excel de eólica y del recurso eólico.

Calculos:

Coefficientes para cálculos energía (Eolux)
29.85 -62.77

Modelo base Eolux - 24 o 48V

Potencia Nominal **800 W**
Generación Referencia Pn x 24hs **19200 Wh/dia**

Mes	(I) <V> [m/s]	(II) Promedio Mensual [kWh]	(III) Promedio Diario [kWh]
Enero	6.51	131.44	4.24
Febrero	5.79	110.00	3.93
Marzo	5.59	103.98	3.35
Abril	6.01	116.51	3.88
Mayo	5.72	107.83	3.48
Junio	5.54	102.53	3.42
Julio	5.70	107.35	3.46
Agosto	5.59	103.98	3.35
Setiembre	5.70	107.35	3.58
Octubre	5.88	112.65	3.63
Noviembre	6.37	127.35	4.24
Diciembre	6.51	131.44	4.24

Resumen de Datos del Proyecto y Selecciones:

Energía Diaria Demandada	7052.28	Wh
Tensión de Trabajo Sistema CC:	48.00	Volts
N° de Baterías Requerido:	12	Unidades
Cantidad de Aerogeneradores + Torre + Cableado:	3	Unidades
Distancia en Metros de Aerog. a Tablero:	60	metros
Inversor: Cantidad en Circuitos Separados	1	Unidades
Inversor: Potencia Nominal Requerida	4003.00	W
Inversor: Potencia Pico Requerida	5895.50	W
Tipo de Inversor	Enertik ICB-5K- 48	-

CANTIDAD	DESCRIPCION	Precio Unitario	Precio Total	IVA 21% incluido	\$ A PAGAR c/IVA incl.
3	AEROGENERADORES EOLUX	180000.00	540000.00	0.00	540000.00
3	TORRES TIPO RETICULADO 12m	70000.00	210000.00	0.00	210000.00
3	MONTAJES-CABLES-BASES	25000.00	75000.00	0.00	75000.00
60	MTS totales CABLEADO EXTERIOR SINTENAX	396.00	23760.00	0.00	23760.00
12	KAISE KBL122000 AGM	26731.00	320772.00	0.00	320772.00
1	Enertik ICB-5K- 48	73306.00	73306.00	0.00	73306.00
3	FLETES, INSTALACION Y GASTOS ADMIN.	20000.00	60000.00	0.00	60000.00
TOTAL CON IMPUESTOS					1302838.00

De este resumen, puede verse que el costo total de la instalación eólica es bastante elevado: aproximadamente de \$1.300.000 para poder cubrir aproximadamente el 50% de la demanda total eléctrica por energía eólica.

Cabe mencionar que, si bien en algunos meses no son suficientes tres molinos sino cuatro, dada la escasez del recurso eólico, no se justifica el gasto de un molino más con la pequeña cantidad de energía que falta para cubrir el 50% de esa demanda.

Simulación usando HOMER

Para obtener resultados más reales y hacer un análisis más fino, se utilizó el simulador "HOMER" que hace un cálculo más refinado de todas las variables del sistema y arroja los resultados óptimos.

Mediante la página web de la N.A.S.A., power.larc.nasa.gov, se obtuvieron los recursos tanto solar como eólico que se muestran en las siguientes capturas:

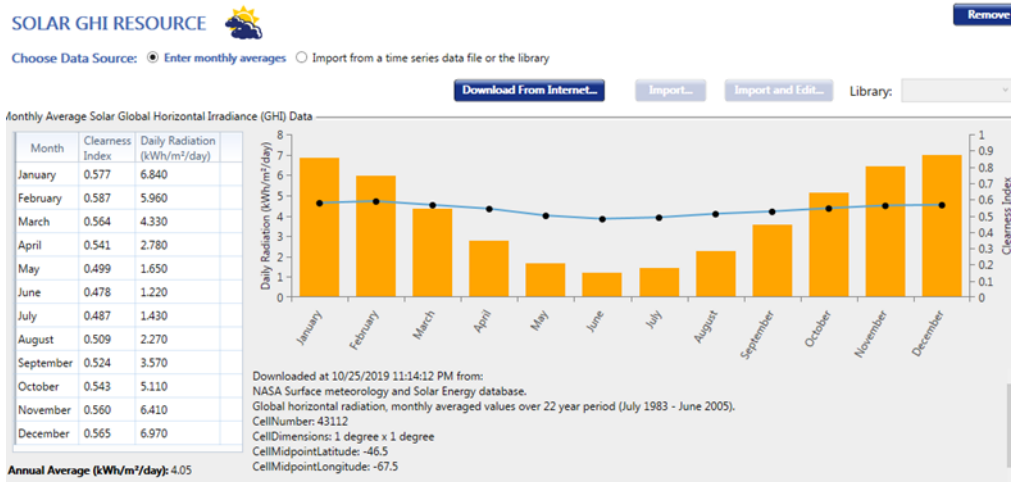


Fig.1: Recurso Solar en Caleta Olivia

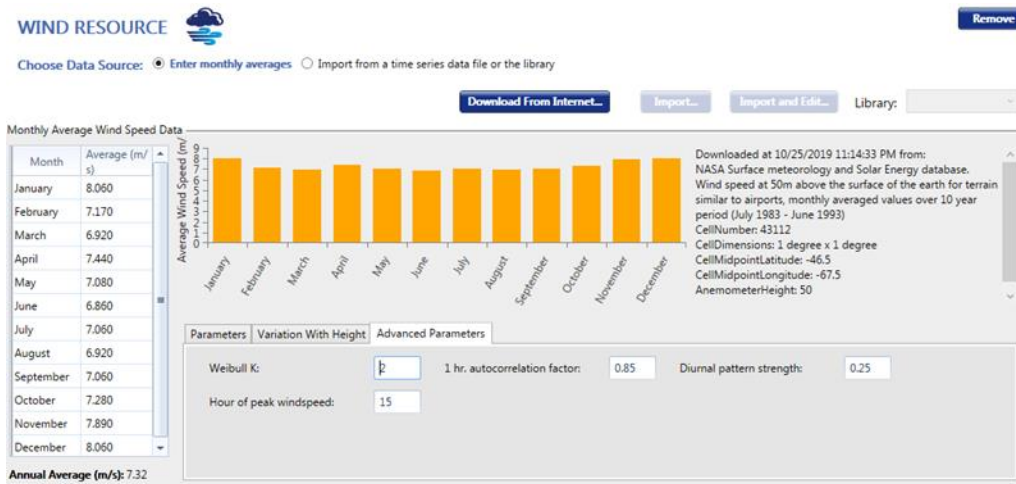


Fig. 2: Recurso eólico en Caleta Olivia

En las siguientes capturas de pantalla, se muestran los distintos componentes del sistema, los precios de cada uno de ellos y sus características:

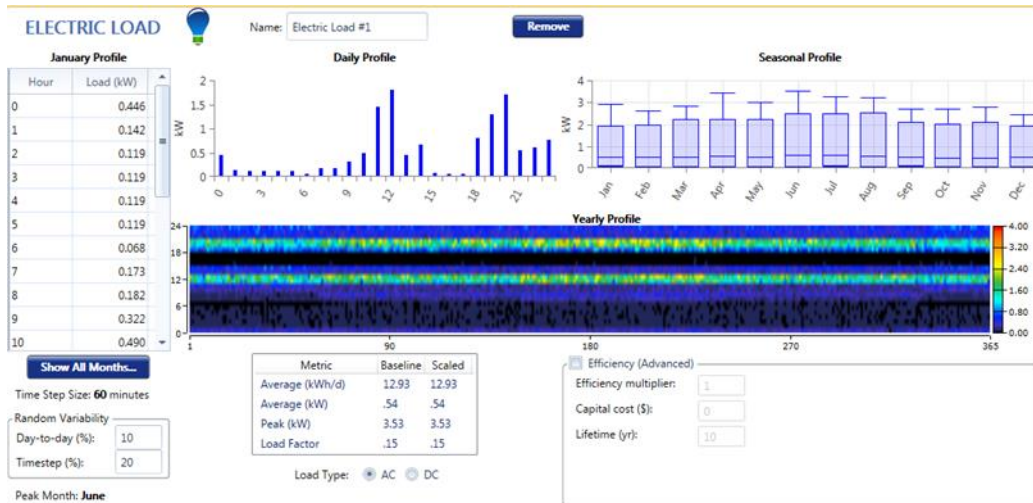


Fig.3 Perfil de consumo eléctrico

Yearly Load Data												
Weekdays	Weekends											
Hour	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
0	0.446	0.446	0.377	0.377	0.377	0.375	0.375	0.375	0.377	0.377	0.377	0.446
1	0.142	0.142	0.139	0.139	0.139	0.139	0.139	0.139	0.139	0.139	0.139	0.142
2	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119
3	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119
4	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119
5	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119
6	0.068	0.068	0.106	0.106	0.106	0.135	0.135	0.135	0.106	0.106	0.106	0.068
7	0.173	0.173	0.234	0.234	0.234	0.302	0.302	0.302	0.218	0.218	0.218	0.173
8	0.182	0.182	0.390	0.390	0.390	0.446	0.446	0.446	0.382	0.382	0.382	0.182
9	0.322	0.322	0.262	0.262	0.262	0.262	0.262	0.262	0.262	0.262	0.262	0.322
10	0.490	0.490	0.275	0.275	0.275	0.275	0.275	0.275	0.275	0.275	0.275	0.490
11	1.452	1.452	1.512	1.512	1.512	1.722	1.722	1.722	1.412	1.412	1.412	1.452
12	1.805	1.805	1.937	1.937	1.937	2.167	2.167	2.167	1.837	1.837	1.837	1.805
13	0.445	0.445	0.312	0.312	0.312	0.332	0.332	0.332	0.312	0.312	0.312	0.445
14	0.662	0.662	0.542	0.542	0.542	0.422	0.422	0.422	0.542	0.542	0.542	0.662
15	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
16	0.062	0.062	0.062	0.062	0.062	0.062	0.062	0.062	0.062	0.062	0.062	0.062
17	0.062	0.062	0.062	0.062	0.062	0.062	0.062	0.062	0.062	0.062	0.062	0.062
18	0.800	0.800	0.775	0.775	0.775	0.816	0.816	0.816	0.800	0.800	0.800	0.800
19	1.286	1.286	1.702	1.702	1.702	1.981	1.981	1.981	1.596	1.596	1.596	1.286
20	1.713	1.713	2.009	2.009	2.009	2.271	2.271	2.271	1.901	1.901	1.901	1.713
21	0.540	0.540	0.478	0.478	0.478	0.482	0.482	0.482	0.478	0.478	0.478	0.540
22	0.604	0.604	0.473	0.473	0.473	0.484	0.484	0.484	0.473	0.473	0.473	0.604
23	0.771	0.771	0.621	0.621	0.621	0.629	0.629	0.629	0.621	0.621	0.621	0.771

Fig.4: Consumo eléctrico diario de cada mes

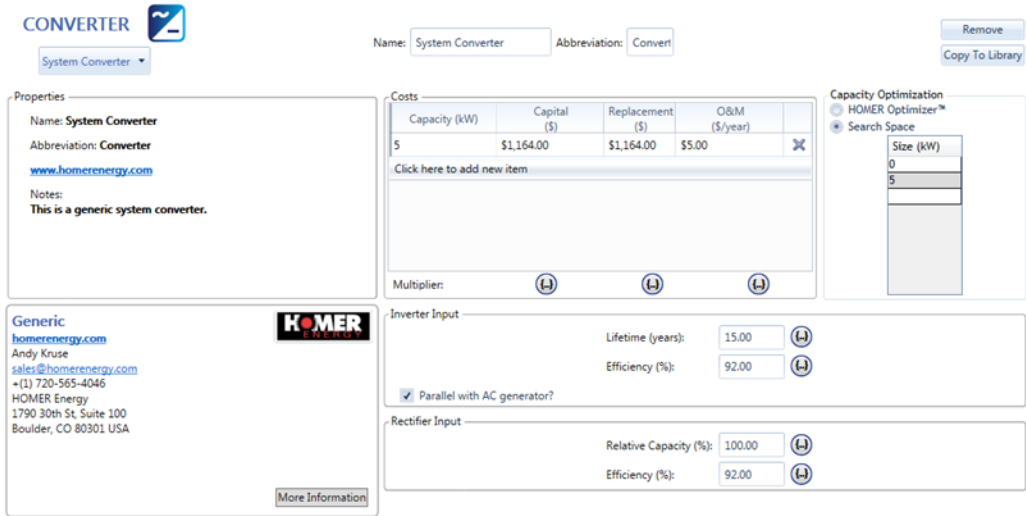


Fig.5: Pestaña del inversor

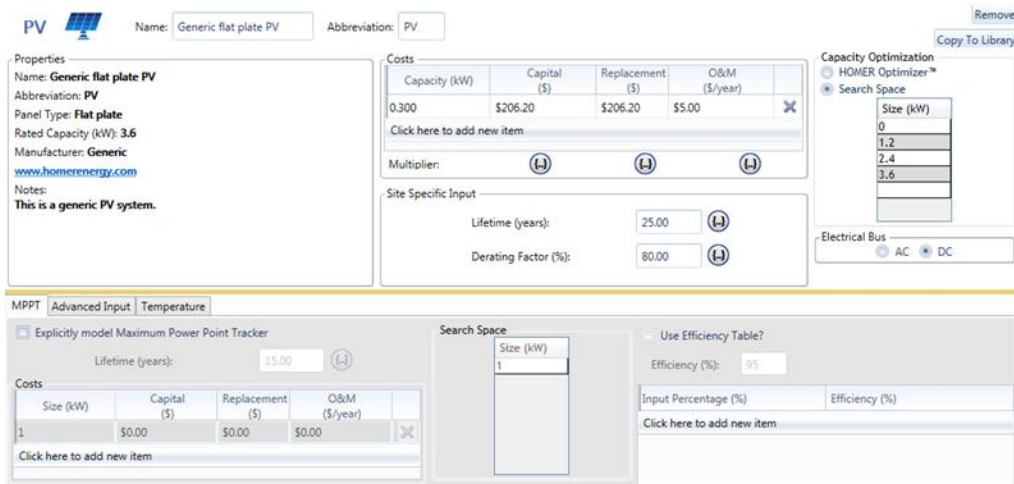


Fig.6: Pestaña de paneles fotovoltaicos

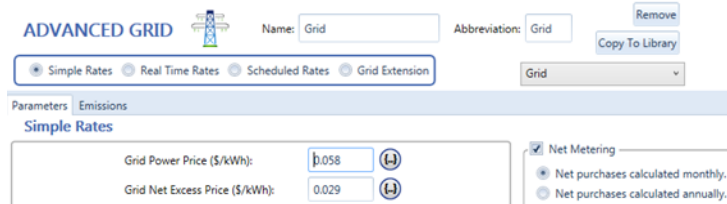


Fig.7: Conexión a red, precios de compra y venta de la energía

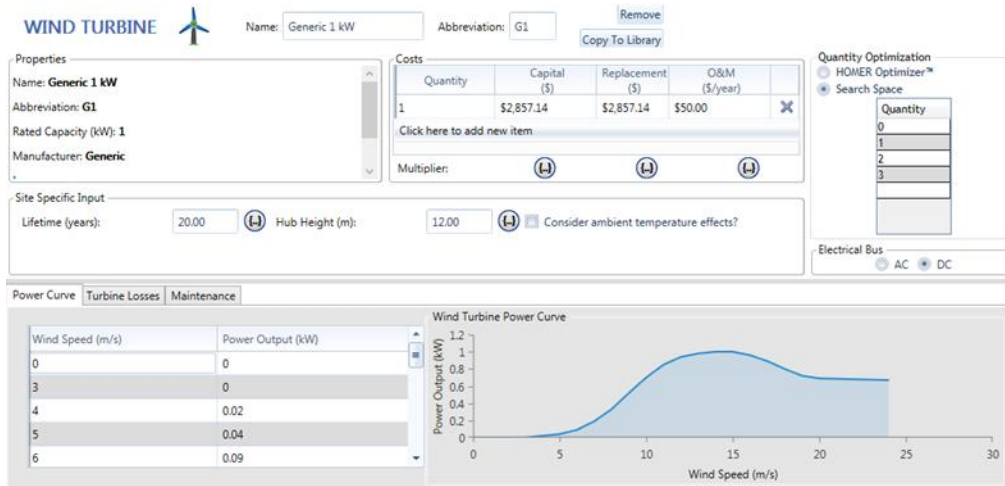


Fig.8: Pestaña de aerogeneradores

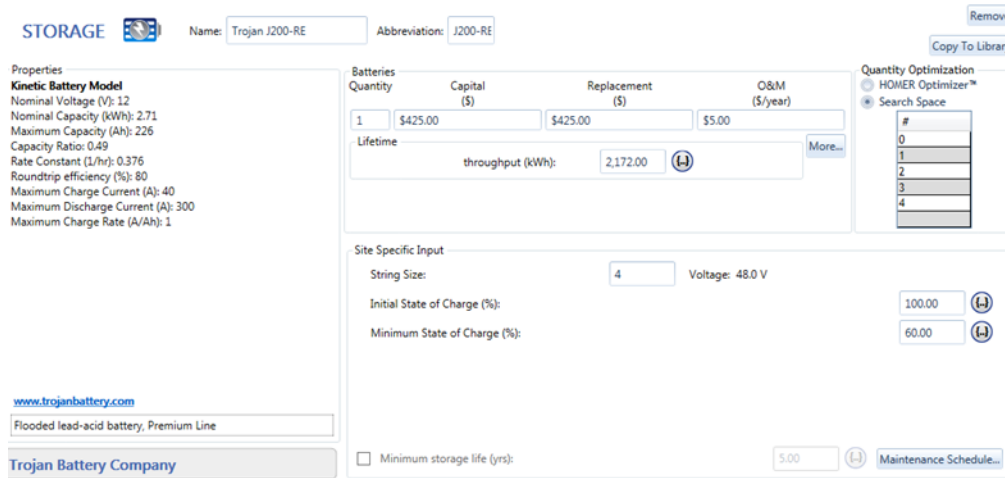


Fig.8: Pestaña de batería

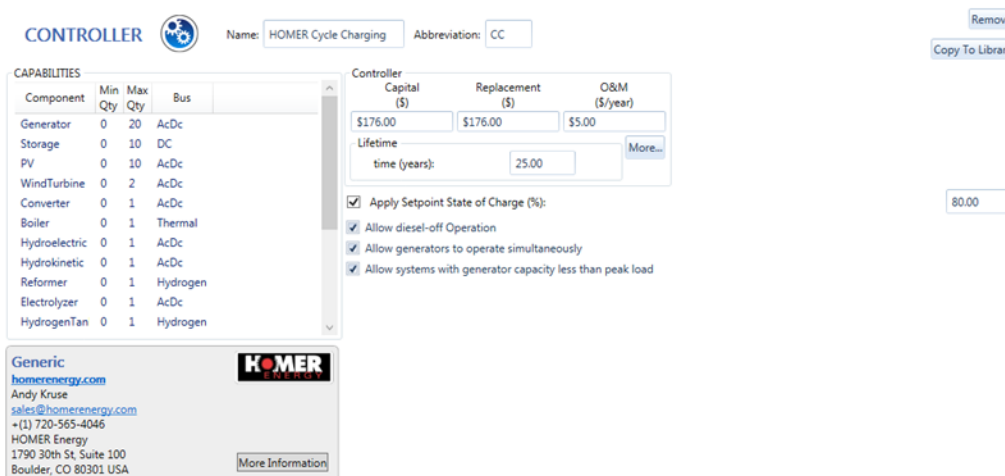


Fig.9: Pestaña de Reguladores

Las restricciones del sistema fueron:

CONSTRAINTS

Maximum annual capacity shortage (%): 10.00

Minimum renewable fraction (%): 70.00

Operating Reserve

As a percentage of load

Load in current time step (%): 10.00

Annual peak load (%): 0.00

As a percentage renewable output

Solar power output (%): 50.00

Wind power output (%): 50.00

Fig.10: Pestaña de restricciones

Con todos estos datos insertados, el simulador arrojó los resultados óptimos haciendo un click sobre "Calculate". Los resultados obtenidos fueron:

RESULTS

Export... Export All... Compare Economics... Column Choices...

Sensitivity Cases
Left Click on a sensitivity case to see its Optimization Results.

Sensitivity	Architecture							Cost			System	PV		G1	
Electric Load #1 Scaled Average (kWh/d)	PV (kW)	G1	J200-RE	Grid (kW)	Converter (kW)	Dispatch	COE (\$)	NPC (\$)	Operating cost (\$)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Capital Cost (\$)	Production (kWh)	Capital Cost (\$)	Production (kWh)
12.9317832	3.60	1		999,999	5.00	LF	\$0.0716	\$8,167	\$129.26	\$6,496	73	2,474	5,040	2,857	1,996
15.52	2.40	2		999,999	5.00	LF	\$0.0910	\$11,267	\$211.91	\$8,528	71	1,650	3,360	5,714	3,992

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

Architecture							Cost			System	PV		G1		Auto	
PV (kW)	G1	J200-RE	Grid (kW)	Converter (kW)	Dispatch	COE (\$)	NPC (\$)	Operating cost (\$)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Capital Cost (\$)	Production (kWh)	Capital Cost (\$)	Production (kWh)	O&M Cost (\$)	Auto (t)
3.60	1		999,999	5.00	LF	\$0.0716	\$8,167	\$129.26	\$6,496	73	2,474	5,040	2,857	1,996	50	
3.60	1	4	999,999	5.00	LF	\$0.0853	\$9,728	\$118.55	\$8,196	73	2,474	5,040	2,857	1,996	50	8.1

Fig.11: Resultados

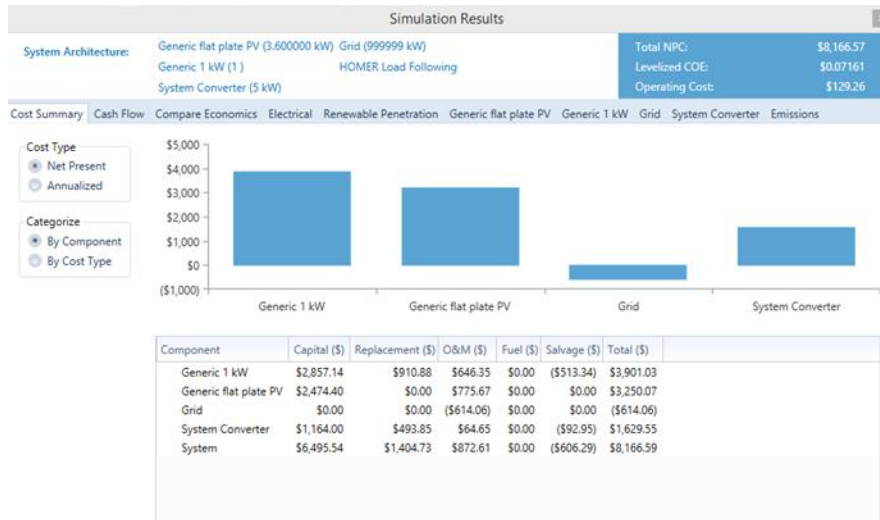


Fig.12: Pestaña de resultados para consumo de 12.93, primer resultado categorizado.

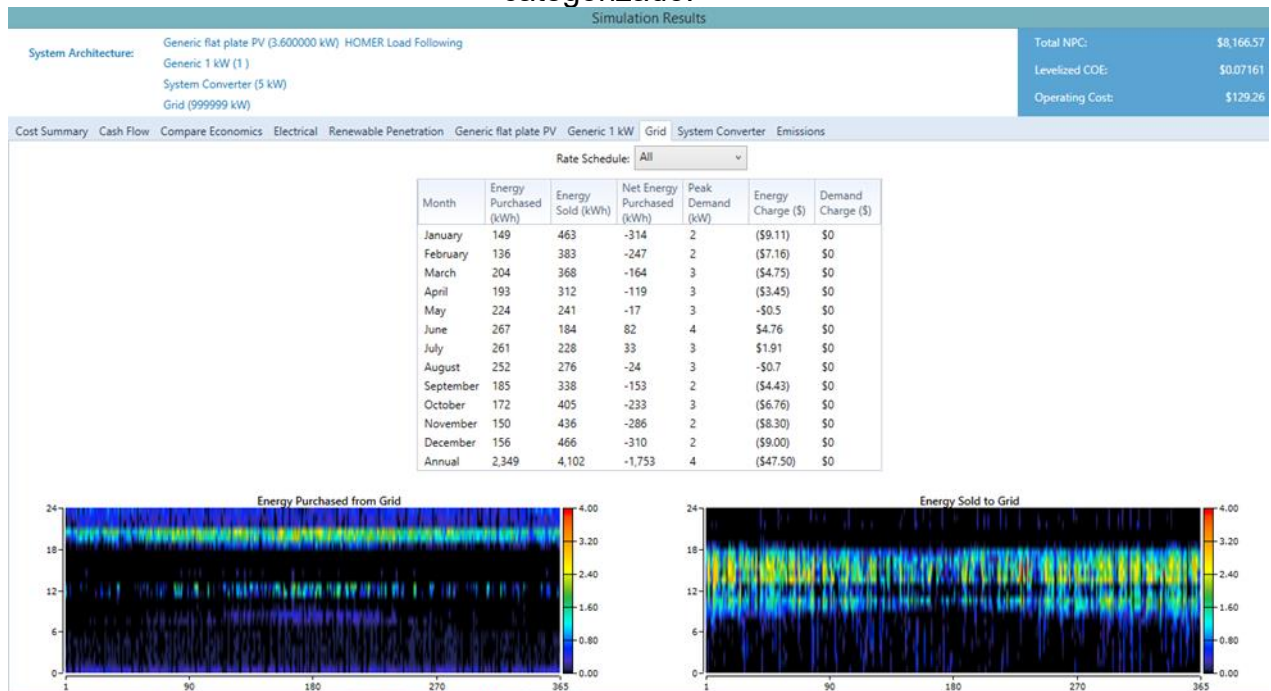


Fig.13: Resultados, pestaña de conexión a red



Fig.14: Resultados, pestaña eléctrica

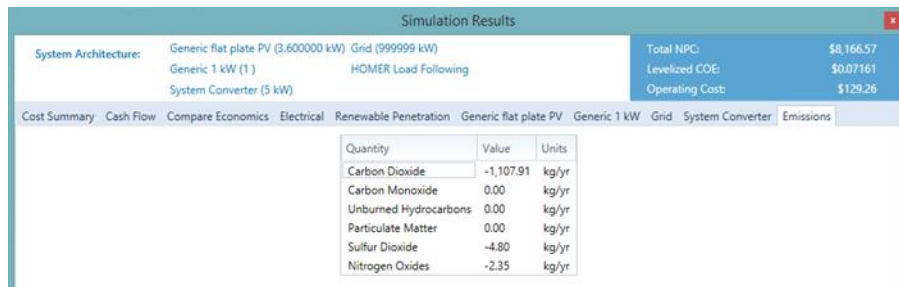


Fig.15: Resultados, pestaña de conexión a red

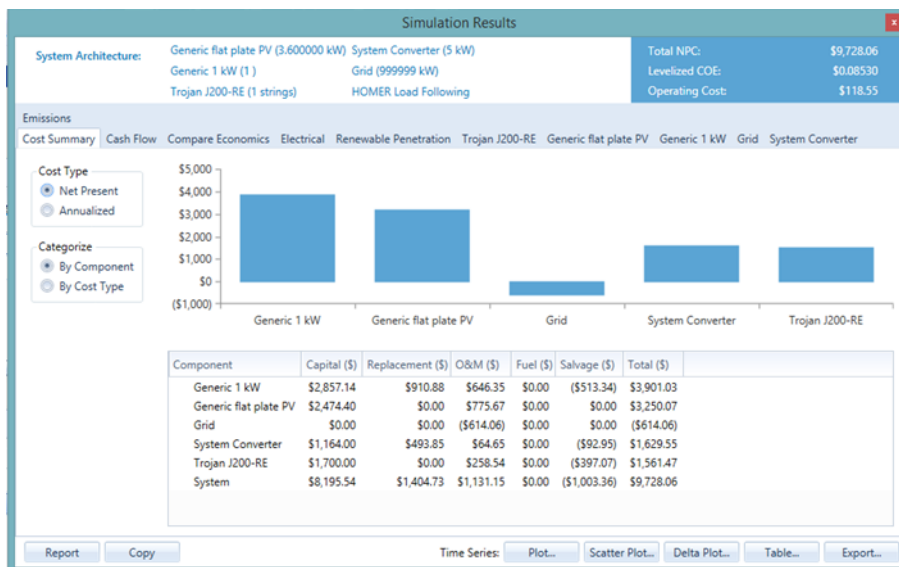


Fig.16: Resultados para la segunda opción del consumo de 12.93.

En el esquema propuesto, no se incluyeron generadores, puesto que para cubrir la demanda energética faltante se recurrió a la conexión a red, asumiendo que en la provincia de Santa Cruz se aplicara la Ley 27424 de Generación Distribuida.

La inclusión de las baterías en el desarrollo de este trabajo, se pensó con el fin de que haya una reserva energética si hay cortes de luz frecuentes y no siempre se dispone de energía de la red cuando la renovable no es suficiente.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE HOMER

En esta sección de este trabajo, se hace un análisis de las distintas soluciones proporcionadas mediante el simulador, teniendo en cuenta diferentes variables que influyen en la decisión de cuál resultado es el más conveniente dadas las circunstancias y las restricciones impuestas previamente.

Se va a llamar:

“1” al resultado óptimo en cuanto a costo para el consumo eléctrico obtenido en la planilla Excel;

“2” al otro resultado categorizado para ese consumo;

“3” al resultado no categorizado que cumple $>$ % de energía renovable y $<$ NPC;

“4” al resultado no categorizado que cumple las condiciones de “3” e incluye baterías.

El criterio para tomar “3” y “4” como resultados a analizar fue cuán costoso resultaría el sistema final, en caso de elegir la solución que más cuida al medio ambiente.

I) Costos (en dólares)

El resultado “1” presenta un Costo Presente Neto de \$8167 frente al “2” que es de \$9728, siendo más rentable “1” que “2”.

El costo de operación de “1” es un poco mayor que el de “2” (129.26 vs 118.55), diferencia casi despreciable teniendo en cuenta que se requiere una inversión de 6496 dólares para “1” contra una de 8196 para “2”.

Por su parte, “3” presenta un NPC de \$14559, el costo de operación anual es de \$181.70 y una inversión de \$12210; y “4” arroja un NPC de \$16120, un costo de operación de \$171 y una inversión de \$13910. Definitivamente estos resultados son los más costosos.

II) Fracción de Energía Renovable (%)

Tanto “1” como “2” generan un porcentaje de energía renovable equivalente al 73% de la energía total que abastece a la carga. Por su parte, el porcentaje de energía renovable de “3” y “4” es del 85%, bastante superior a “1” y “2”.

III) Consumo (pestaña eléctrica)

Del total de la energía producida, tanto en “1” como en “2”, 53.50% se destina a cubrir la demanda energética en corriente alterna y el 46.50% restante se vende a la red. Para el caso de “3” y “4”, el 39.55% de la energía total se usa para la carga y el 60.45% es vendido a la red.

IV) Exceso de Electricidad, Carga sin Abastecer y Capacity Shortage (eléctrica)

Al estar conectado a la red, los kWh/año de cada una de estas características son cero en ambos resultados “1” y “2”, pues no hay exceso de electricidad al vender toda la energía sobrante a la red; tampoco hay carga eléctrica sin abastecer ya que al estar conectado, se puede tomar energía de la red para cubrir la demanda de energía que no cubre la energía renovable; por ende tampoco hay escasez de capacidad.

“3” y “4” presentan un exceso de electricidad casi despreciable (0.2% del total) que representa 28.6 kWh/año. Sin embargo, puede asumirse que en este ítem los cuatro resultados son iguales.

V) Emisiones

Tanto el resultado “1” como el “2” arrojan los mismos valores de emisiones.

Puede verse que, al vender energía a la red, se reducen emisiones de dióxido de carbono, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno en una cantidad de 1107.91, 4.80 y 2.35 kg/año, respectivamente. Esto es importante, si se quiere reducir la contaminación y problemáticas ambientales que producen las energías no renovables como el efecto invernadero, cuyo principal agente es el CO₂. Si

aproximadamente, más del 10% de la población optara por estas energías limpias, se contribuiría bastante a preservar el medio ambiente.

Por otro lado, “3” y “4” son las soluciones que reducen el triple de las emisiones de los gases ya mencionados que las anteriores soluciones, (3412.15, 14.79 y 7.23 para CO₂, SO₂ y NO_x, respectivamente), por ende, puede decirse que es el resultado que, al llevarlo a la práctica, favorece más al medio ambiente.

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

En esta sección del trabajo, se explica brevemente cómo condicionan los resultados un aumento del 20% del consumo eléctrico total, un aumento del 20%, en los precios de cada uno de los componentes del sistema o una disminución del 10% del recurso tanto solar, como eólico, disponibles.

Para facilitar y simplificar el análisis, se van a hacer las comparaciones, tomando como referencia únicamente la solución de menor costo presente neto (“1”) la cual no usa baterías para almacenar energía y, por otro lado, tomando sólo la solución categorizada óptima.

Los resultados del análisis de sensibilidad para el resto de las soluciones se muestran en la Tabla 2, en la sección **“CONCLUSIONES”**, de este trabajo.

Sensibilidad al aumento de la demanda eléctrica

El simulador arrojó que el aumento de la demanda eléctrica:

- 1) Eleva el NPC en aproximadamente un 38% de la solución “1”, (8167 dólares vs 11267.34 para esta solución).
- 2) Disminuye la fracción de energía renovable del total de la energía requerida (73% vs 71% para este caso).

- 3) Disminuye la reducción de emisiones de gases en casi un 37% (1107.91, 4.80 y 2.35 kg/año vs 694.42, 3.01 y 1.47 kg/año para CO₂, SO₂ y NO_x, respectivamente).

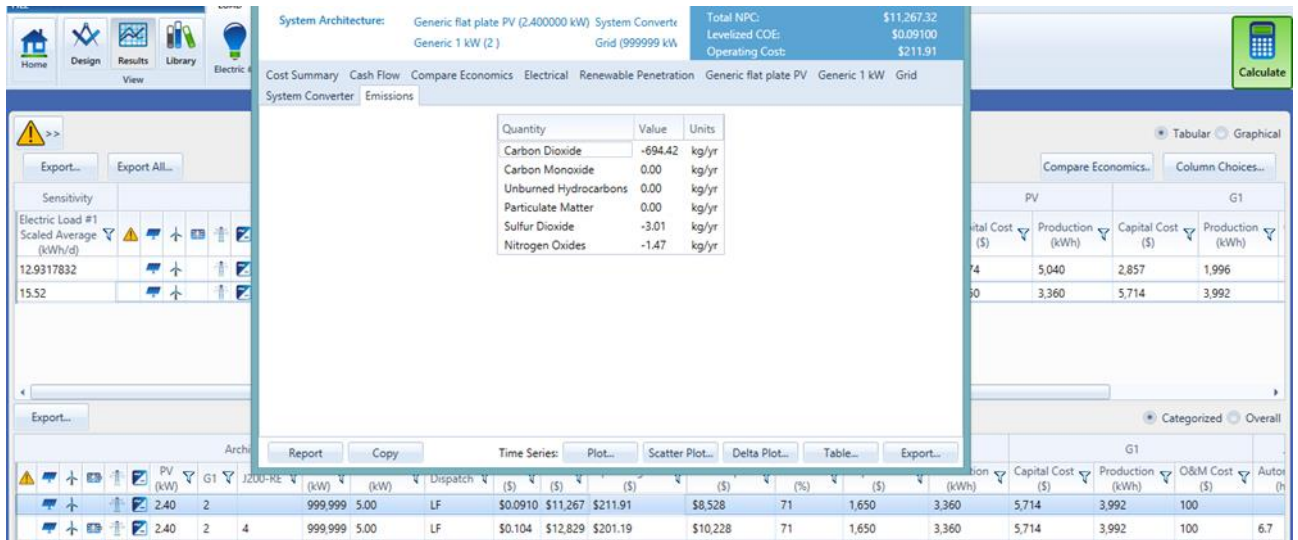
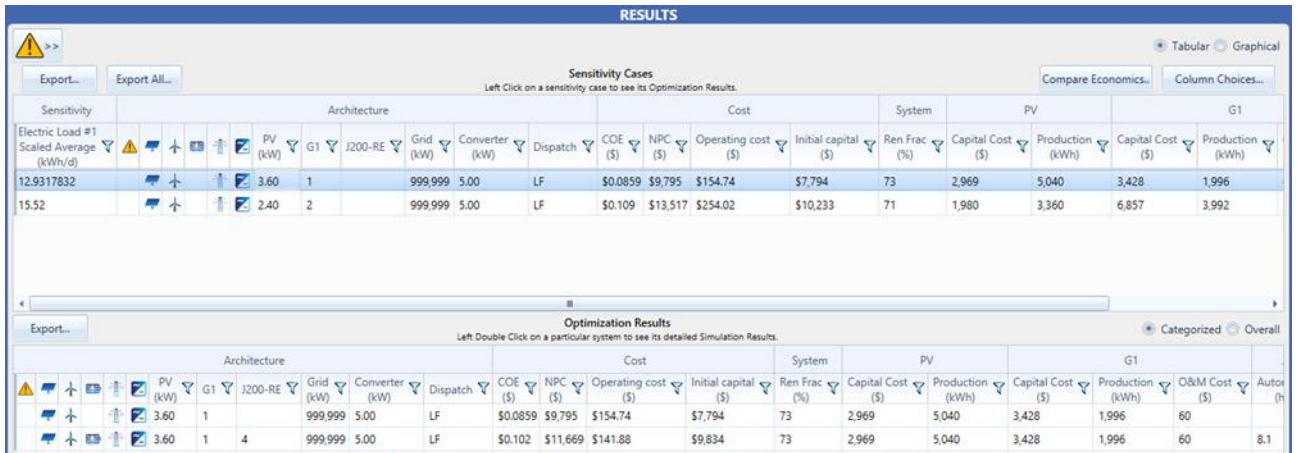


Fig.17: Resultados, Pestaña de emisiones y resultados para un aumento de demanda

Sensibilidad al aumento en los precios

Los resultados que proporcionó HOMER ante el aumento en los precios de todos los componentes del sistema en un 20% son:

- 1) Elevación del NPC en aproximadamente un 20% que la solución "1" (8167 dólares vs 9795 para esta solución).
- 2) La fracción de energía renovable del total de la energía necesaria se mantiene igual.
- 3) La reducción de emisiones de gases liberados por uso de energías no renovables se mantiene en los mismos valores.



RESULTS																
Sensitivity Cases																
Left Click on a sensitivity case to see its Optimization Results.																
Sensitivity	Architecture						Cost			System	PV		G1			
Electric Load #1 Scaled Average (kWh/d)	PV (kW)	G1	J200-RE	Grid (kW)	Converter (kW)	Dispatch	COE (\$)	NPC (\$)	Operating cost (\$)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Capital Cost (\$)	Production (kWh)	Capital Cost (\$)	Production (kWh)	
12.9317832	3.60	1		999,999	5.00	LF	\$0.0859	\$9,795	\$154.74	\$7,794	73	2,969	5,040	3,428	1,996	
15.52	2.40	2		999,999	5.00	LF	\$0.109	\$13,517	\$254.02	\$10,233	71	1,980	3,360	6,857	3,992	

Optimization Results																
Left Double Click on a particular system to see its detailed Simulation Results.																
Categorized Overall																
Architecture						Cost			System	PV		G1				
PV (kW)	G1	J200-RE	Grid (kW)	Converter (kW)	Dispatch	COE (\$)	NPC (\$)	Operating cost (\$)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Capital Cost (\$)	Production (kWh)	Capital Cost (\$)	Production (kWh)	O&M Cost (\$)	Autor (h)
3.60	1		999,999	5.00	LF	\$0.0859	\$9,795	\$154.74	\$7,794	73	2,969	5,040	3,428	1,996	60	
3.60	1	4	999,999	5.00	LF	\$0.102	\$11,669	\$141.88	\$9,834	73	2,969	5,040	3,428	1,996	60	8.1

Fig.18: Resultados para el sistema con 20% de aumento en precios

Sensibilidad a la disminución del recurso renovable

A través del simulador, con la solución óptima, se obtuvo que una disminución de la disponibilidad del recurso tanto eólico como solar en un 10%, repercute de la siguiente manera:

- 1) Eleva el NPC en aproximadamente un 46% de la solución "1", (8167 dólares vs 11891 para esta solución).
- 2) Aumenta la fracción de energía renovable del total de la energía requerida (73% vs 75% para este caso).
- 3) Aumenta la reducción de emisiones de gases en aproximadamente un 23% (1107.91, 4.80 y 2.35 kg/año vs 1365.65, 5.92 y 2.90 kg/año para CO₂, SO₂ y NO_x, respectivamente).

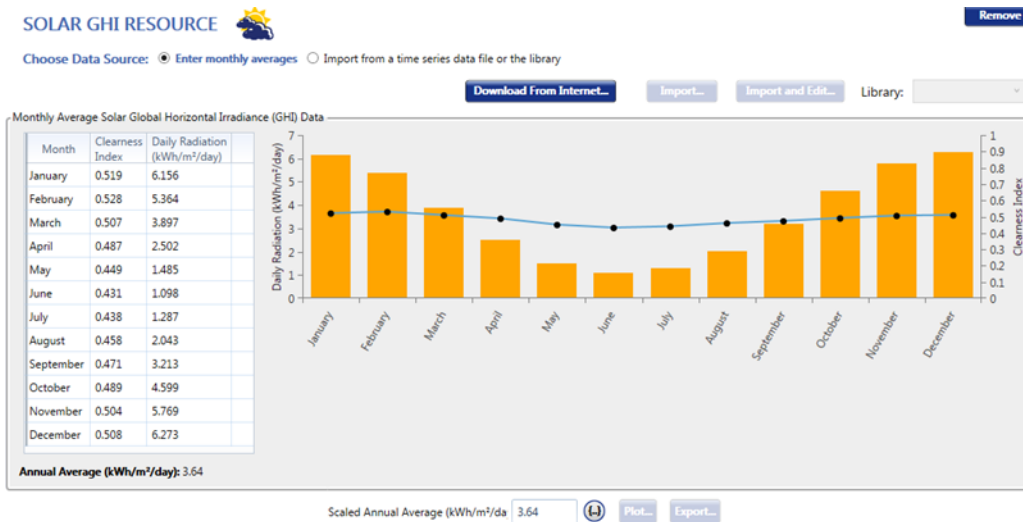


Fig.19: Reducción del 10% del recurso eólico

CONCLUSIONES

De todos los resultados obtenidos mediante el simulador, se puede concluir que de los cuatro resultados óptimos que se analizaron en este trabajo, podría decirse que “1” (resultado categorizado óptimo) sería la opción más conveniente dado a que es, por lejos, la que presenta el menor costo presente neto comparado a “2”, “3” o “4” y la menor inversión.

Si se compara “1” con “2”, lo que modificaría la decisión de elegir “2” como la mejor alternativa es, si con certeza se sabe que hay cortes de luz frecuentes en la localidad de Caleta Olivia, y por ende, no siempre se puede contar con la energía de la red. Si esto ocurre, en momentos en los que la energía renovable no es suficiente para cubrir toda la demanda eléctrica, el contar con baterías es muy conveniente para no quedar completamente desabastecidos en momentos de escasez del recurso. Si los cortes fueran frecuentes, como consecuencia puede decirse que la fracción de energía renovable usada para cubrir la demanda de energía también aumentaría y se reduciría la emisión de gases contaminantes.

Si se compara “1” con “3” o “4” podría decirse que tanto la solución “3” como la “4” son las más amigables con el medio ambiente, puesto a que el porcentaje de energía renovable utilizado para abastecer la casa es muy superior y por ende se reduce, por casa que cuente con este sistema, la emisión de gases contaminantes (que en este caso la reducción de las emisiones por la elección de “3” o “4” es el triple que la que se logra con “1”). Sin embargo, la gran desventaja que presenta “3” y “4” es que son bastante más costosas que “1” (casi un 80% más que “1”), lo cual restringe bastante la decisión de elegir “3” como la mejor alternativa. Lo mismo ocurre con el resultado “4”, que es el más completo.

En las siguientes tablas, se muestra un resumen de lo discutido en la anterior sección. Como referencia, se encuentra resaltado en una misma fila, en amarillo el valor favorable, y en rojo el menos favorable.

Demanda Energética [kWh/día]		Resultado "1"	Resultado "2"	Resultado "3"	Resultado "4"	
12.93	NPC (US\$)	\$8167	\$9728	\$14559	\$16120	
	% Energía Renovable	73%	73%	85%	85%	
	% Energía vendida a la red	46.5%	46.5%	60.45%	60.45%	
	% Exceso de electricidad	Nulo	Nulo	Despreciable	Despreciable	
	Emisiones reducidas (kg/año)	CO ₂	1107.91	1107.91	3412.15	3412.15
		SO ₂	4.80	4.80	14.79	14.79
		NO _x	2.35	2.35	7.23	7.23
15.52	NPC (US\$)	\$11267	\$12829	\$14913	\$16474	
	% Energía Renovable	71%	71%	81%	81%	
	% Energía vendida a la red	40.85%	40.85%	54.57%	54.57%	
	% Exceso de electricidad	Nulo	Nulo	Despreciable	Despreciable	
	Emisiones reducidas (kg/año)	CO ₂	694.42	694.42	2815.10	2815.10
		SO ₂	3.01	3.01	12.20	12.20
		NO _x	1.47	1.47	5.97	5.97

Tabla 1. Comparación de los resultados

Tipo de sensibilidad		Sensibilidad de "1" (%)	Sensibilidad de "2" (%)	Sensibilidad de "3" (%)	Sensibilidad de "4" (%)
Aumento del 20% de la demanda	NPC (US\$)	↑ 38%	↑ 32%	↑ 2.5%	↑ 2.2%
	%Renovable	↓ 2% (73 a 71)	↓ 2% (73 a 71)	↓ 4% (85 a 81)	↓ 4% (85 a 81)
	Emisiones (-)	↓ 37%	↓ 37%	↓ 17.5%	↓ 17.5%
Aumento del 20% en los precios	NPC	↑ 20%	↑ 20%	↑ 20%	↑ 20%
	%Renovable	Insensible	Insensible	Insensible	Insensible
	Emisiones (-)	Insensible	Insensible	Insensible	Insensible
Baja del 10% de disponibilidad del recurso	NPC	↑ 46%	↑ 38%	↑ 4.8%	↑ 4.3%
	%Renovable	↑ 2% (73 a 75)	↑ 2% (73 a 75)	↓ 5% (85 a 80)	↓ 5% (85 a 80)
	Emisiones (-)	↑ 23%	↑ 23%	↓ 34.5%	↓ 34.5%

Tabla 2. Comparación de la sensibilidad de cada alternativa.

Con respecto a los análisis de sensibilidad, surge una contradicción: en general, la solución "3" o "4" serían más favorables que "1" puesto que, si bien el % de la energía de abastecimiento renovable disminuye, sigue siendo superior al de "1". Además, "1" es muy sensible, salvo al aumento de los precios en los componentes, a los otros tipos de sensibilidad, mientras que, en general, "3" y "4" presentan poca variación.

De todo esto, la conclusión final sería que "1" es la solución óptima a implementar por lo económica que es frente a las otras, con una amplia diferencia a corto plazo, y más porque se trata de abastecer de energía a una casa, donde no es un problema tan grave como si fuera abastecer de energía a un hospital o un espacio público. Pero, si se sabe que Caleta Olivia es una localización que presenta una gran variabilidad de la disponibilidad de los recursos renovables, aumenta el consumo y se llegara a priorizar más la disminución de la energía no renovable, la "3" o "4" a largo plazo pueden ser más convenientes, si el inversionista puede afrontar los altos costos iniciales. La solución "2" se tendría en

cuenta solamente si hay cortes de luz demasiado frecuentes en horas del día donde no se recurra ni con recurso solar o eólico.

El esquema final del sistema sería:

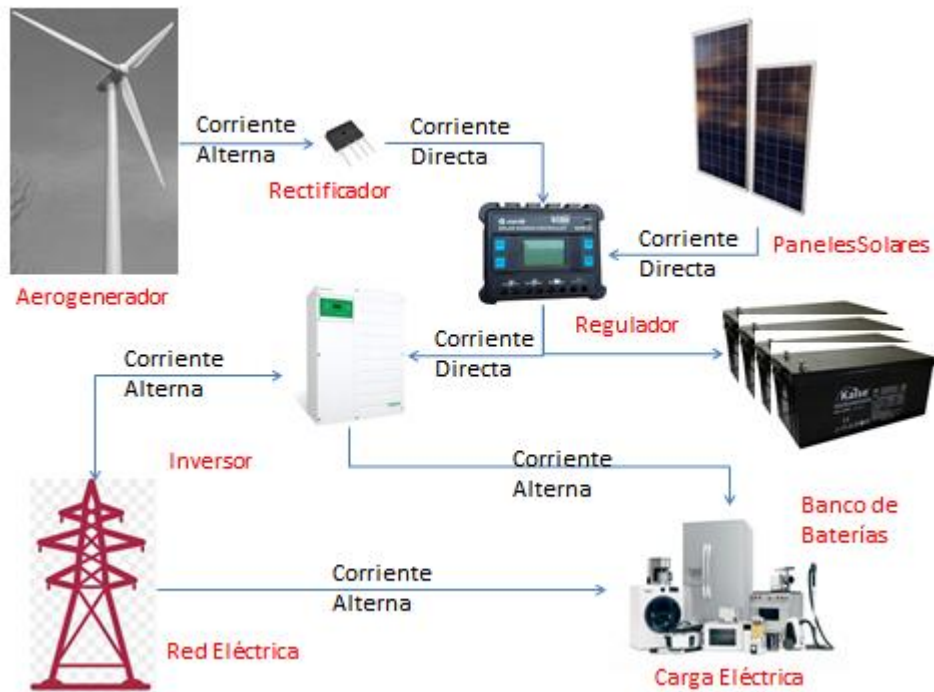


Fig.20: Diagrama de flujo para los resultados “2” y “4”

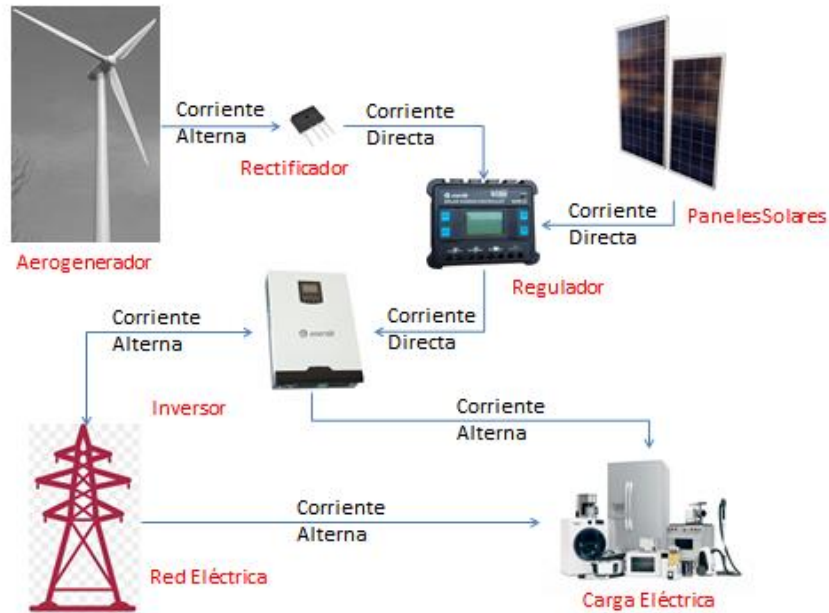


Fig.21: Esquema final para “1” y “3”

Para “1” entonces, el sistema cuenta con:

- Un aerogenerador.
- Doce paneles solares (potencia total de 3.60kW).
- Un regulador.
- Un inversor.
- Conexión a la red eléctrica.
- La carga eléctrica a abastecer.

Para “2” la única diferencia es que hay un string de cuatro baterías. Para “3” la única diferencia es que en lugar de uno, se requieren tres aerogeneradores. “4” es una combinación de “2” y “3”.

Como en el simulador no se consideran los costos de montaje de cables y bases para los aerogeneradores se le sumará 25000 pesos argentinos al total por cada aerogenerador a instalar y 20000 pesos más por gastos administrativos, fletes e instalación. Entonces, los costos totales para cada alternativa son:

Para “1”:

$$25000Ar\$ * \frac{1US\$}{63Ar\$} + 20000Ar\$ * \frac{1US\$}{63Ar\$} + 8167US\$ = \mathbf{8881 \text{ dólares}} = \mathbf{559521 \text{ pesos argentinos}}$$

Para "2":

$$25000Ar\$ * \frac{1US\$}{63Ar\$} + 20000Ar\$ * \frac{1US\$}{63Ar\$} + 9728US\$ = \mathbf{10442 \text{ dólares}} = \mathbf{657864 \text{ pesos argentinos}}$$

Para "3":

$$25000Ar\$ * 3 \frac{1US\$}{63Ar\$} + 20000Ar\$ * 3 \frac{1US\$}{63Ar\$} + 14559US\$ = \mathbf{16702 \text{ dólares}}$$
$$= \mathbf{1052217 \text{ pesos argentinos}}$$

Para "4":

$$25000Ar\$ * 3 \frac{1US\$}{63Ar\$} + 20000Ar\$ * 3 \frac{1US\$}{63Ar\$} + 16120US\$ = \mathbf{18263 \text{ dólares}}$$
$$= \mathbf{1150560 \text{ pesos argentinos}}$$



Fig.22: Pestaña de economía, System Fixed Capital Cost modificado

The screenshot shows two tables from a software interface. The top table, titled 'Sensitivity Cases', has columns for Sensitivity, Architecture (G1, J200-RE, Grid, Converter, Dispatch), Cost (COE, NPC, Operating cost), System (Initial capital, Ren. Frac), PV (Capital Cost, Production), and G1 (Capital Cost, Production). The bottom table, titled 'Simulation Results', has columns for Architecture (PV, G1, J200-RE, Grid, Converter, Dispatch), Cost (COE, NPC, Operating cost), System (Ren. Frac, Capital Cost), PV (Production, Capital Cost), and G1 (Production, O&M Cost, Auto). A yellow arrow points to the 'NPC (\$)' column in the 'Simulation Results' table, which contains the value \$10,443.

RESULTS															
Sensitivity Cases															
Left Click on a sensitivity case to see its Optimization Results.															
Sensitivity	Architecture						Cost			System	PV		G1		
Electric Load #1 Scaled Average (kWh/d)	PV (kW)	G1	J200-RE	Grid (kW)	Converter (kW)	Dispatch	COE (\$)	NPC (\$)	Operating cost (\$)	Initial capital (\$)	Ren. Frac (%)	Capital Cost (\$)	Production (kWh)	Capital Cost (\$)	Production (kWh)
12.9317832	3.60	1		999,999	5.00	LF	\$0.0779	\$8,882	\$129.26	\$7,211	73	2,474	5,040	2,857	1,996
15.52	2.40	2		999,999	5.00	LF	\$0.0968	\$11,982	\$211.91	\$9,243	71	1,650	3,360	5,714	3,992

Simulation Results																
Left Double Click on a system to see its detailed Simulation Results.																
Architecture						Cost			System	PV		G1		Auto		
PV (kW)	G1	J200-RE	Grid (kW)	Converter (kW)	Dispatch	COE (\$)	NPC (\$)	Operating cost (\$)	Initial capital (\$)	Ren. Frac (%)	Capital Cost (\$)	Production (kWh)	Capital Cost (\$)	Production (kWh)	O&M Cost (\$)	Auto (I)
3.60	1		999,999	5.00	LF	\$0.0779	\$8,882	\$129.26	\$7,211	73	2,474	5,040	2,857	1,996	50	
3.60	1	4	999,999	5.00	LF	\$0.0916	\$10,443	\$118.55	\$8,911	73	2,474	5,040	2,857	1,996	50	8.1

Fig.23: Resultados obtenidos al modificar la pestaña “Economics”

Aclaración 1: las últimas dos capturas se tomaron con el fin de corroborar si el NPC calculado a mano, sumando los costos extra de instalación, fletes, mantenimiento, entre otros, era coherente y cercano al real, y efectivamente ambos son casi iguales (para “1”, 8881 vs 8882 obtenido en Homer y para “2”, 10442 vs 10443).

Aclaración 2: algo que no se mencionó anteriormente es que para el caso de las alternativas en las cuales se incluyen baterías, se debe considerar que el tipo de aerogenerador/regulador e inversor son diferentes para conexión a red con respecto a los usados para un sistema aislado. Si bien el costo de estos inversores híbridos con capacidad de venta a la red es mucho más caro que el Enertik que se muestra en la siguiente tabla, usados en sistemas aislados, y pese a la consideración de que el aerogenerador se construye con bobinados de mayor tensión haciendo que el regulador produzca tensión continua más alta para convertir directamente a la red, necesitándose otro regulador, los costos no cambian demasiado y, por lo tanto, los resultados “2” y “4” no presentan una muy significativa variación del precio total.

En la tabla que se muestra a continuación, se pueden observar todos los componentes seleccionados, sus características, marca o modelo y precios.

Componente	Modelo/Marca	Características	Precio (dólares)
Paneles Solares Fotovoltaicos	Policristalino Kethor	300W	206.2
Aerogeneradores	Eolux	800W	2857.14
Baterías	Kaise KBL122000AGM	12V, 220Ah	425
Inversor	Enertik ICB 5K-48	48V, 5kW, senoidal pura	1164 (*) (ver bibliografía)
Regulador de Voltaje	Enertik	24V/48V, 30A	176

Se tomó el precio de venta de la energía provista por la red 0.058 dólares por kWh de energía consumida y el precio de venta de la energía a 0.029 dólares por kWh. Ambos precios fueron tomados de la provincia de Santa Fe, provincia en la cual es posible vender energía a la red.

Páginas consultadas

- Mercado libre, Argentina → Precio de los componentes del sistema (paneles solares, regulador, aerogenerador).
- <https://www.lanacion.com.ar/economia/una-familia-genera-electricidad-su-casa-se-nid2261938> → Precio de la compra y venta de energía a la red.
- <https://pdfs.semanticscholar.org/5ce8/172d9f381ce19507abc2ddd4b14309c06f7d.pdf> ; <https://solarlatam.com/funciona> ; <http://www.solartec.com.ar/soluciones.html> → Información útil.
- <https://www.mundobaterias.com.ar/producto/bateria-12v-200ah-kaise-kbl122000-agm/> → Precio de las baterías.
- <https://enertik.com.ar/inversor-de-corriente-cargador-de-baterias-pwm-5000w> → Precio del inversor aislado
- <https://enertik.com.ar/inversor-on-grid-growatt-4200mtl-s-monofasico-4200w> → Precio del inversor para conexión a red
- <https://prismsolar.co.uk/shop/combi-xantrex-xw6048-6kw-48v-inverter-charger.html> → Precio del inversor Schneider Electric Conext XW+ 7kw 48v