



Proyecto final:
Energía eólica
y solar fotovoltaica
para el abastecimiento
del “Centro de
Salud N°20”

Autora: Anabella Herrera

Cátedra: Energías Renovables

Docentes: Jorge Lescano, Rafael Oliva

Universidad Nacional de la Patagonia Austral – U.A.R.G.

2020

Índice

Resumen.....	1
Objetivo.....	2
Introducción	3
Energías renovables.....	3
Energía solar.....	3
Energía solar fotovoltaica.....	4
Energía eólica.....	4
Sistemas híbridos.....	5
Memoria descriptiva	6
Descripción del proyecto.....	6
Localización del proyecto	6
Datos meteorológicos.....	7
Memoria de cálculo.....	11
Perfiles de consumo energéticos	11
Perfil de consumo en verano.....	12
Perfil de consumo en otoño	13
Perfil de consumo en invierno	13
Perfil de consumo en primavera	14
Cálculos iniciales aproximados	14
Abastecimiento con energía solar fotovoltaica.....	14
Abastecimiento con energía eólica	15
Refinamiento del cálculo con Homer.....	18

Homer	18
Demanda energética.....	19
Batería.....	19
Panel solar.....	20
Inversor	21
Generador	22
Aerogenerador	23
Esquema del sistema.....	24
Resultados.....	25
Conclusión	27
Anexos	28
Anexo 1. Tabla de temperatura ambiente mensual en Río gallegos	28
Anexo 2. Tabla de radiación incidente sobre un plano horizontal	28
Anexo 3. Perfil diario de demanda energética en verano.....	28
Anexo 4. Perfil diario de demanda energética en otoño.....	29
Anexo 5. Perfil diario de demanda energética en invierno	29
Anexo 6. Perfil diario de demanda energética en primavera	29
Webgrafía.....	30

Resumen

En el presente trabajo práctico se diseñó un sistema energético basado en energía solar fotovoltaica y eólica para abastecer la demanda del “Centro de Salud N°20” (ficticio), ubicado en la ciudad de Río Gallegos, provincia de Santa Cruz, Argentina.

Para determinar la demanda del establecimiento se establecieron cuatro perfiles de consumo estacionales (de verano, otoño, invierno y primavera), ya que la disponibilidad de los recursos energéticos varía según los meses. Además, se consideró que la carga y el horario de atención del mismo es constante durante todo el año.

Primero se realizó un cálculo aproximado con el uso de las planillas de fotovoltaica y eólica, basado en el abastecer el 50% de la demanda como si el sistema fuera sólo fotovoltaico, dando un resultado de 49 paneles solares con una potencia pico de 120 W y 30 baterías de 12 V/220 Ah c/u; mientras que el porcentaje restante debía ser cubierto como si el sistema fuera sólo eólico, obteniendo de esta forma una cantidad de 3 aerogeneradores de 24 V, 14 baterías de 12V c/u y 1 inversor Enertik ICB-2K-24.

En una segunda instancia, el refinamiento de los cálculos con la utilización del simulador Homer muestra que se necesitan 28 paneles solares Generic flat plate PV de 120W de potencia pico, 3 aerogeneradores AWS HC 650W Wind Turbine de 650 W de potencia, 1 generador de 10 KW Fixed Capacity Genset, 10 baterías J200-RE de 12 V c/u y 1 inversor System Converter de 4 KW. Con este sistema se abastecería el 93% de la demanda por energías renovables. El costo total del mismo es de USD 28785.

Objetivo

El objetivo del presente trabajo es modelar un sistema híbrido energético basado en energía solar fotovoltaica y eólica para abastecer la demanda de un Centro de Salud ficticio, llamado “N°20”, ubicado en una zona rural de la localidad de Río gallegos (Santa Cruz, Argentina), más precisamente a una latitud de $-51,6333^\circ$ y longitud de $-69,2167^\circ$.

El sistema en cuestión debe estar compuesto por los artefactos necesarios para el aprovechamiento de estas energías renovables, que deben lograr cubrir la demanda energética del establecimiento. Para determinar la cantidad de componentes, características y costos de los mismos, se realizarán dos partes:

- i. Cálculos iniciales aproximados: empleando las planillas diseñadas para energía eólica y solar fotovoltaica, estableciendo que cada uno de estos recursos pueda cubrir individualmente el 50% de la demanda total.
- ii. Refinamiento del cálculo: utilizando el simulador Homer para refinar los resultados de la primera parte y crear el esquema del sistema.

Introducción

Energías renovables

Hoy en día, la mayoría de las actividades que necesitan energía para desarrollarse consumen recursos no renovables, principalmente obtenidos de combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón) cuyas reservas se van agotando día a día y no pueden ser recuperadas naturalmente. Para solucionar esta problemática es que surgen las llamadas energías renovables. Éstas son aquellas que pueden producir trabajo a partir de fuentes inagotables, como ser: el viento, el caudal de agua de un río, las olas del mar, la biomasa, el calor interior de la Tierra y la energía solar. A diferencia del sistema energético actual basado en los combustibles fósiles, las energías renovables permiten el aprovechamiento indefinido en el tiempo.

Energía solar

Se refiere a la radiación que llega a la superficie de la Tierra proveniente del Sol, la cual varía a lo largo del año según la latitud: a medida que un punto se aleja de la línea del Ecuador, la radiación incidente variará durante el año. En el hemisferio norte, la mínima anual se da el día 21 de diciembre, y la máxima, el 21 de junio. En cambio, en el hemisferio sur esto es al revés; la máxima es el día 21 de diciembre y la mínima, el 21 de junio. Mientras que en un punto ubicado sobre el Ecuador, la radiación se mantiene constante a lo largo del año.

Además, la radiación solar también dependerá de la meteorología diaria, ya que en los días de lluvia o nublados será menor que en los días claros. Así mismo, también se ve afectada por la claridad atmosférica, es decir, la contaminación: en lugares donde haya mayor cantidad de partículas en el aire, será menor la energía incidente.

Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es la transformación directa de la radiación solar en electricidad. Esta transformación se produce en unos dispositivos denominados paneles solares. Éstos están compuestos de células fotovoltaicas, que están formadas por un material con electrones sensibles a la radiación solar. Cuando un fotón choca contra un átomo de silicio, se desprende un electrón generando una corriente eléctrica.

Las instalaciones fotovoltaicas pueden ser montadas en el suelo, en el techo o pared. El soporte puede ser fijo o móvil para que los mismos estén siempre orientados al Sol. Además, el uso de estas estructuras no genera gases ni contribuyen al cambio climático.

Energía eólica

La energía eólica es una fuente de energía renovable que se obtiene a partir de la energía cinética del viento que mueve las palas de un aerogenerador, el cual a su vez pone en funcionamiento una turbina que la convierte en energía eléctrica.

El proceso comienza cuando el aerogenerador se posiciona para aprovechar al máximo la energía del viento, usando los datos registrados por la veleta y anemómetro y girando sobre su torre. Después, el viento hace girar las palas que se conectan a un rotor que a su vez se conecta a una multiplicadora que eleva la velocidad de giro a miles de revoluciones por minuto. Esta energía cinética se transfiere al generador que la convierte en energía eléctrica que es conducida por el interior de la torre hasta su base, luego sigue por la subestación para que eleve su tensión y continúa hasta la red eléctrica para su posterior distribución.

Debido a sus características, esta es una de las energías limpias más usadas en el mundo, junto con la energía solar. En el presente trabajo se utilizan ambas para modelar el proyecto.

Sistemas híbridos

Se les llama sistemas híbridos a aquellos basados en el uso y combinación de dos o más fuentes energéticas para transformarlas en electricidad. Tienen la capacidad de abastecer sistemas aislados o conectados a la red eléctrica, estos últimos pueden o no tener la capacidad de inyectar energía a la red. La combinación de las fuentes energéticas dependerá de los recursos que ofrezca la zona en estudio, y su conexión dependerá de la ubicación de la red eléctrica, el nivel de tensión y la distancia que lo separa del sistema que se desea abastecer de energía eléctrica. El fundamento o base para la decisión por una u otra configuración y su adherencia o no a la red eléctrica dependerá de factores económicos, sociales, medioambientales, geográficos, etc.

Memoria descriptiva

Descripción del proyecto

El “Centro de Salud N°20” consiste en un establecimiento de índole ficticio diseñado para, principalmente, ampliar la capacidad hospitalaria de la ciudad y desarrollar atención primaria de salud, servicios de medicina general, enfermería, pediatría, odontología, y eventualmente, psicología y nutrición. El horario de atención del mismo durante todo el año es de 08:00 hs a 17:00 hs.

En sus 240 m² de superficie posee los siguientes compartimientos:

- 1 sala de espera;
- 1 recepción;
- 11 consultorios;
- 2 baños para pacientes;
- 1 sala de personal;
- 1 baño para el personal;
- 1 farmacia;
- 1 cocina.

Localización del proyecto

Este proyecto se sitúa en la ciudad de Río Gallegos, capital de la provincia de Santa Cruz, Argentina. Se encuentra a una latitud de -51,6333° y longitud de -69,2167°. Su altitud es de 11 m.

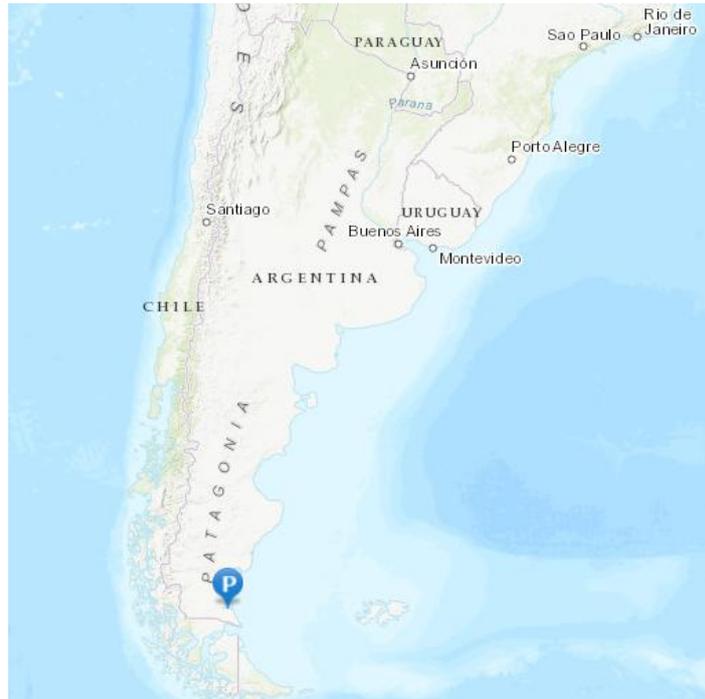


Ilustración 1. Localización de Río Gallegos en un mapa satelital

Población: Al ser capital, esta localidad es la más poblada de la provincia con 107.000 habitantes.

Datos meteorológicos

Clima: Como es propio del sureste del país, Río gallegos posee un clima semiárido templado. Por ello, el clima suele ser ventoso, seco y frío. El cielo se encuentra parcialmente nublado durante todo el año.

Temperatura: Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de -1 °C a 19 °C y rara vez baja a menos de -6 °C o sube a más de 24 °C. En verano, la temperatura mínima promedio es de 6,69°C y la máxima de 16°C. Mientras que en los meses más fríos, la temperatura mínima media es de -0,62°C y la máxima alcanza los 4,2°C. El 14 de enero es el día más caluroso del año, en el cual las temperaturas generalmente varían de 9°C a 19°C;

mientras que el 4 de julio, día más frío del año, oscilan entre -1°C y 4°C . Estos datos se resumen en el siguiente gráfico:

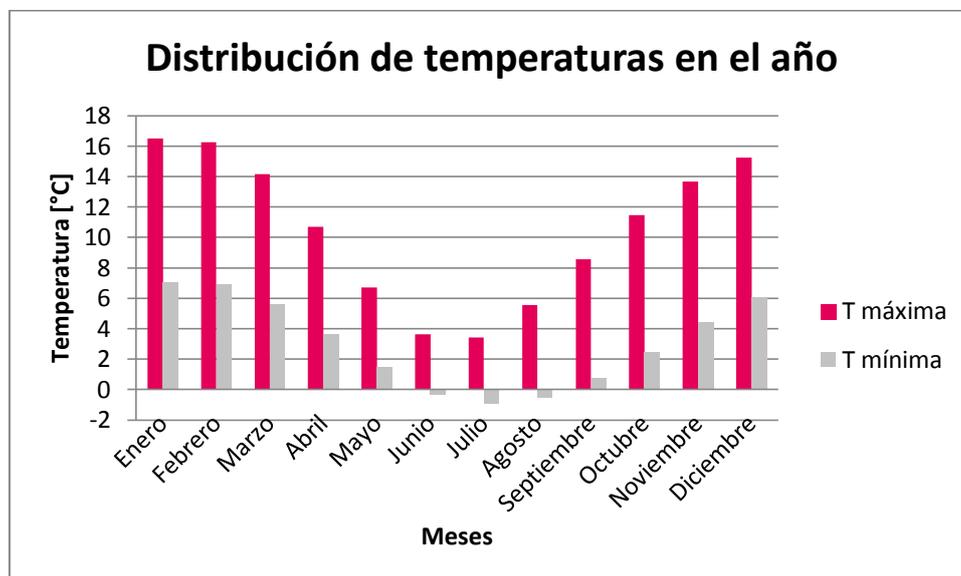


Ilustración 2. Distribución mensual de temperatura ambiente en Río gallegos.

Luz solar: El día más largo del año, 21 de diciembre, tiene 16 horas y 51 minutos de luz natural. Mientras que en el solsticio de invierno, 21 de junio, hay 7 horas y 40 minutos de luz solar.

Energía solar: La energía solar de onda corta incidente promedio diaria tiene variaciones estacionales extremas durante el año. El período más resplandeciente del año dura 3,4 meses, desde el 1 de noviembre al 12 de febrero, con una energía de onda corta incidente diaria promedio por metro cuadrado superior a 5,3 kWh. El día más resplandeciente del año es el 20 de diciembre, con un promedio de 6,5 kWh. El periodo más oscuro del año dura 4,0 meses, del 21 de abril al 21 de agosto, con una energía de onda corta incidente diaria promedio por metro cuadrado de menos de 1,9 kWh. El día más oscuro del año es el 22 de junio, con un promedio de 0,7 kWh. Estos valores de radiación se resumen en la siguiente tabla:

MES	RADIACIÓN INCIDENTE SOBRE UN PLANO HORIZONTAL [kWh/m ² día]
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
PROMEDIO ANUAL	3,24

Tabla 1. Promedio mensual de radiación incidente sobre un plano horizontal por día y por metro cuadrado.

Nubosidad: Como referencia, el 20 de mayo, el día más nublado del año, la probabilidad de cielo nublado o mayormente nublado es 58%; mientras que el 24 de febrero, el día más despejado del año, la probabilidad de cielo despejado es del 52%.

Viento: La velocidad promedio del viento por hora en Río gallegos tiene variaciones estacionales leves en el transcurso del año. La parte más ventosa del año dura 5,4 meses, del 16 de octubre al 28 de marzo, con velocidades promedio del viento de más de 24,6 Km/h. El día más ventoso del año es el 30 de noviembre, con una velocidad promedio del viento de 27,0 Km/h. El tiempo más calmado del año dura 6,6 meses, del 28 de marzo al 16 de octubre. El día más calmado del año es el 7 de junio, con una velocidad promedio del viento de 22,2 Km/h. Estos datos se detallan en la siguiente tabla:

MES	VELOCIDAD DEL VIENTO [m/s]
Enero	8,49
Febrero	8,2
Marzo	8,15
Abril	8,32
Mayo	7,63
Junio	7,49
Julio	7,79
Agosto	8,2
Septiembre	8,37
Octubre	8,23
Noviembre	8,88
Diciembre	8,44
PROMEDIO ANUAL	8,18

Tabla 2. Promedio mensual de velocidad del viento.

Memoria de cálculo

Perfiles de consumo energéticos

Para determinar la cantidad de energía demandada por el establecimiento, es necesario crear perfiles de consumo energético basados en la cantidad de potencia que necesitan los artefactos eléctricos que allí se encuentran para poder funcionar, y por supuesto, en la cantidad de horas de uso de los mismos, que tienen relación directa con el horario de atención (que es el mismo en todo el año) y con las estaciones debido a que se dispone de distintos valores de luz solar según el mes al que se refiera.

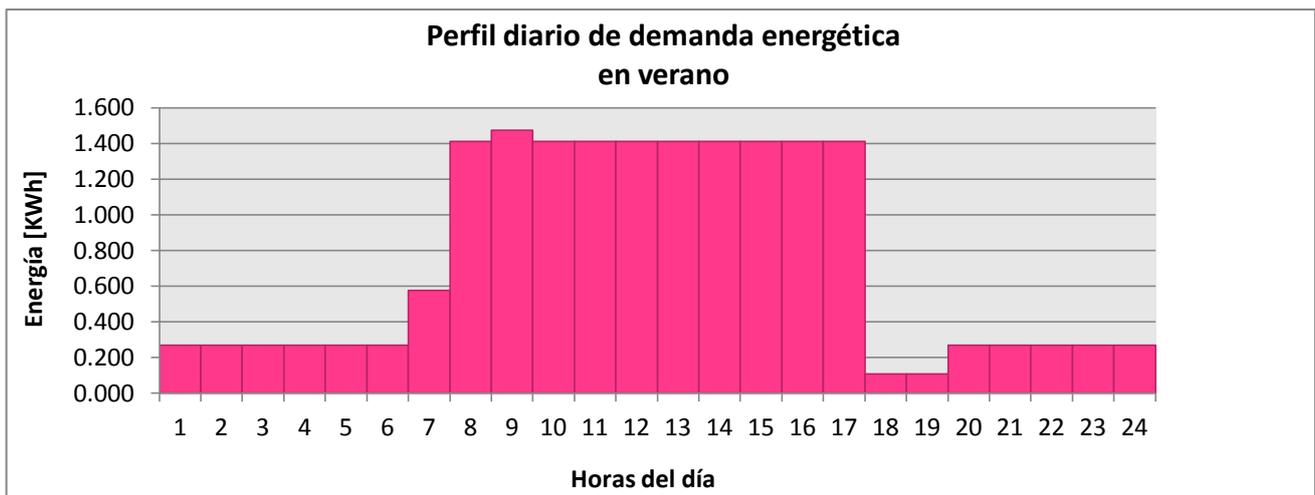
A continuación se detallan los aparatos eléctricos contenidos (con sus respectivas potencias de consumo) en la arquitectura del Centro de Salud:

- En la sala de espera:
 - 6 lámparas de techo de 12 W c/u.
 - 1 equipo de altavoces de 23 W.
 - 1 TV de 40 W.
- En la recepción:
 - 2 lámparas de techo de 8 W c/u.
 - 2 notebooks de 65 W c/u.
 - 1 impresora de 25,2 W.
- En los 11 consultorios:
 - 11 lámparas de techo (distribuidas en cada uno) de 12 W c/u.
 - 11 notebooks (una por cada consultorio) de 65 W c/u.
- En los baños para pacientes:
 - 4 lámparas de techo de 8 W c/u.
- En la sala de personal:
 - 2 lámparas de techo de 12 W c/u.
 - 1 TV de 40 W.

- En el baño para el personal:
 - 1 lámpara de techo de 8 W.
- En la farmacia:
 - 1 lámpara de techo de 8 W.
 - 1 heladera de 180 W.
- En los pasillos:
 - 14 lámparas de techo de 8 W c/u.
- En la cocina:
 - 2 lámparas de techo de 12 W c/u.
 - 1 heladera de 180 W.
- En el exterior:
 - 20 lámparas de 8 W c/u.
 - 1 bomba elevadora de 125 W.

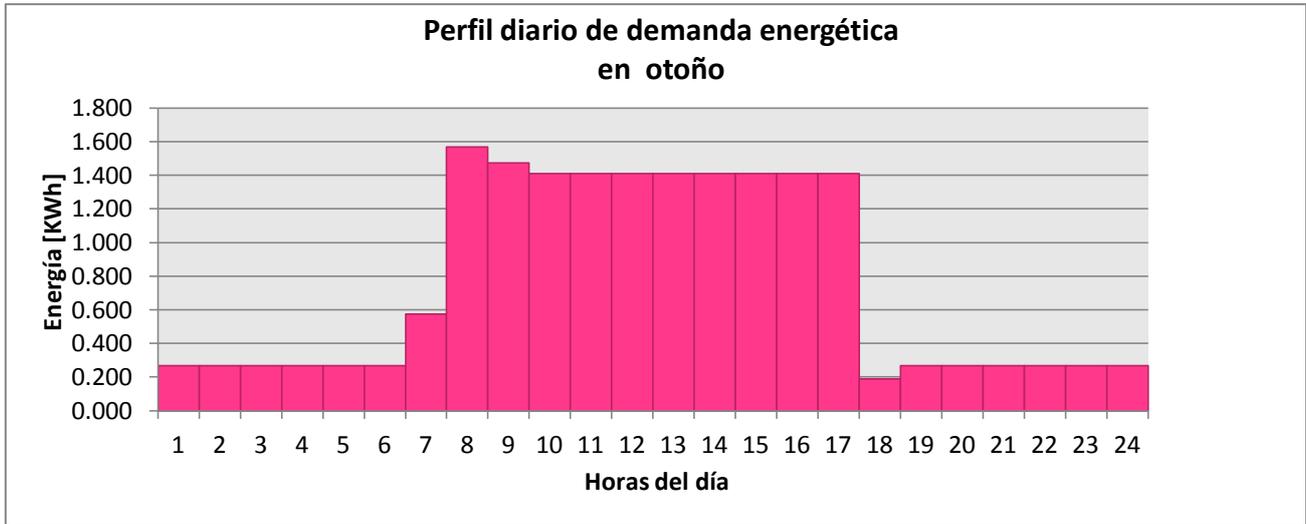
Para este proyecto se crean cuatro perfiles diarios de consumo energético y son estacionales. Éstos se adjuntan detallados en los anexos [3, 4, 5 y 6] y se resumen en los siguientes gráficos:

Perfil de consumo en verano



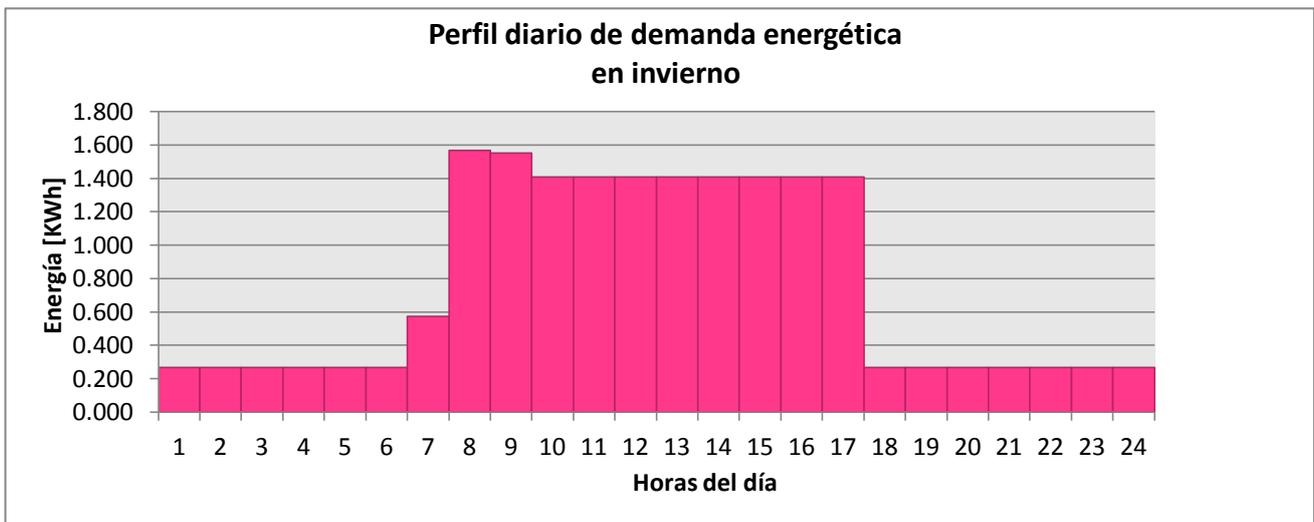
La demanda diaria promedio en verano es de 17,897 KWh.

Perfil de consumo en otoño



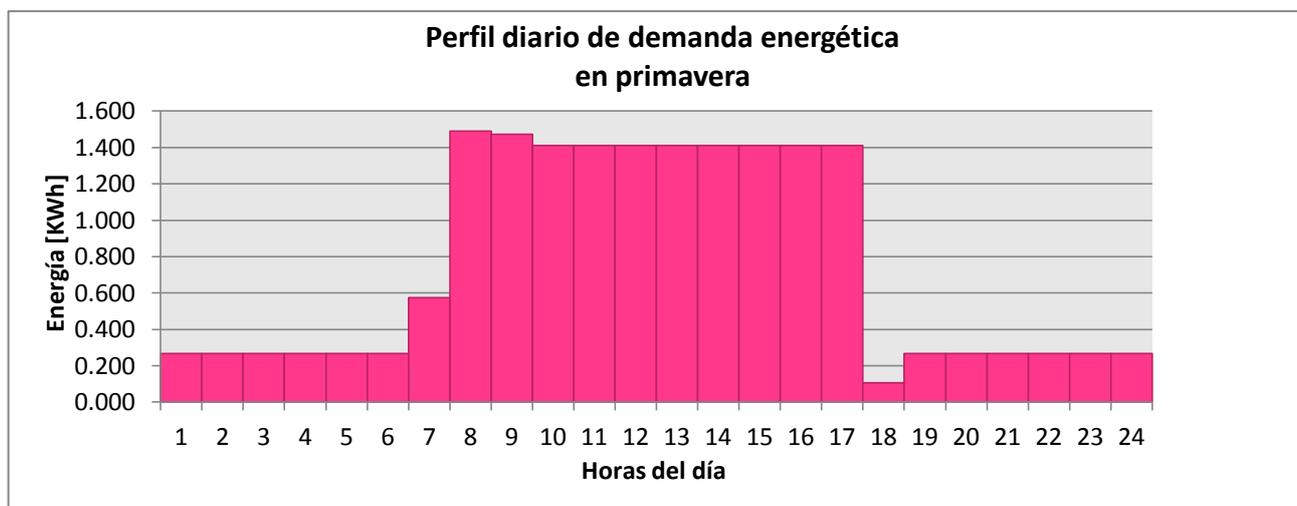
La demanda diaria promedio en otoño es de 18,297 KWh.

Perfil de consumo en invierno



La demanda diaria promedio en invierno es de 18,457 KWh.

Perfil de consumo en primavera



La demanda diaria promedio en primavera es de 18,131 KWh.

Como era de esperarse, la demanda energética diaria promedio es mayor en invierno debido a que se dispone de menos horas de luz solar y por lo tanto, las luces del exterior deben estar más tiempo encendidas.

Cálculos iniciales aproximados

En esta sección se detallan los cálculos iniciales aproximados para establecer las cantidades y dimensiones de los distintos componentes necesarios del sistema (paneles solares, aerogeneradores, baterías, etc.) a partir de la utilización de planillas para energía solar fotovoltaica y eólica.

Estos cálculos se realizan de forma separada entre las distintas energías renovables: primero considerando que el sistema es netamente fotovoltaico y debiera abastecer el 50% de la demanda energética planteada en los perfiles de consumo. Y luego, suponiendo que el sistema fuera sólo eólico y debiera abastecer el otro 50% restante.

Abastecimiento con energía solar fotovoltaica

Al hacer uso de la planilla de cálculo de solar fotovoltaica, se debe tener en cuenta la mitad de la demanda planteada en los perfiles de consumo, los datos de radiación solar incidente sobre una

superficie horizontal, que luego, según la época del año, determinarán una cierta radiación incidente sobre el plano inclinado, ya que los paneles se deberán colocar con una cierta inclinación que está dada por factores precargados en la planilla.

Además, hay que establecer las características técnicas de los paneles solar y las baterías que se quieran utilizar. En este caso:

- Potencia pico de los paneles: 120 W.
- Capacidad de las baterías: 220 Ah.
- Tensión de las baterías: 12 V.
- Tensión de trabajo: 24 V.
- String mínimo: 2.
- Nivel de descarga de las baterías: 40%.
- Días sin generación: 3.
- Eficiencia del regulador: 0,95.
- Eficiencia de las baterías: 0,80.
- Eficiencia del convertidor: 0,90.
- Factor de seguridad: 1,15.

Resultados:

Al cargar estos valores en la planilla, se obtiene que se necesitan:

- 49 paneles solares: Generic flat plate PV, con 120W de potencia pico c/u.
- 30 baterías: Trojan J200-RE, de 12 V y 220 Ah C/u.

Abastecimiento con energía eólica

En la planilla de energía eólica también se tiene en cuenta que debe cubrirse el 50% de la demanda total. En la misma se cargan los datos de velocidad del viento en la localidad; así como también, las características técnicas de los artefactos que son necesarios para el diseño del sistema y el precio de los mismos.

Resultado del cálculo de baterías

- Se necesitarían 14 baterías marca Trojan J200-RE.
 - Tensión: 12 V.
 - Capacidad: 200 Ah.
 - Plomo ácido.
 - Dimensiones: 14,97'' x 6,91'' x 14,71''.
 - Peso: 59,87 Kg.
 - Costo unitario: USD 419

[Extraído de <https://www.solar-electric.com/trojan-j200-re-deep-cycle-renewable-battery.html>]



Ilustración 3. Batería Trojan J200-RE.

Resultado del cálculo de aerogeneradores

- Se necesitarían 3 aerogeneradores Eolux 24 V.
 - Potencia nominal: 800 W.
 - Velocidad de viento nominal: 14 m/s.
 - Velocidad de viento de inicio: 3 m/s.
 - Velocidad de viento de corte: 25 m/s.
 - Generador: Síncrono de imán permanente.
 - Diámetro del rotor: 2,1 m.
 - Número de aspas: 3.
 - Configuración del rotor: Eje horizontal a Barlovento.
 - Tipo de torre: reticulada.

- Vida útil: 30 años.
- Costo unitario: USD 2400.



Ilustración 4. Aerogenerador Eolux 24V.

Resultado del cálculo del inversor

- Es necesario un inversor marca Enertik ICB-2K-24.
 - Tensión nominal: 24 V.
 - Potencia nominal: 2000 W.
 - Potencia pico: 4000 W.
 - Costo unitario: USD 518



Ilustración 5. Inversor Enertik ICB-2K-24.

Resumen de resultados y costos totales aproximados

La siguiente tabla detalla el resumen de los datos calculados y los costos individuales y totales que demandaría el sistema eólico.

Cantidad	Descripción	Precio unitario [USD] (con IVA incluido)	Precio total [USD] (con IVA incluido)
3	Aerogeneradores Eolux	2400	7200
3	Torres tipo reticulado 12 m	934	2800
3	Montajes, cables, bases	334	1000
60	Metros totales cableado exterior Sintenax	3,08	184,8
14	Baterías Trojan J200-RE	419	5866
1	Inversor Enertik ICB-2K-24	518	518
1	Fletes, instalación y gastos administrativos	267	266,7

Tabla 3. Resumen de resultados del sistema eólico.

El costo total de este sistema con impuestos incluidos es de USD 17834,8.

Refinamiento del cálculo con Homer

En esta sección se refinan los cálculos anteriores utilizando el software *Homer*, creando un esquema que incluye baterías, paneles solares, molinos, inversor y generador diesel; teniendo en cuenta que con este sistema híbrido se debe cubrir el 100% de la demanda energética planteado en los perfiles de consumo del establecimiento. El porcentaje mínimo de la demanda energética a ser cubierta por energías renovables es del 65% y se admite sólo un 5% de demanda sin cubrir.

Homer

El software Homer  es una herramienta útil para diseñar proyectos en el área de las energías renovables. Sirve para modelar sistemas de generación de pequeña escala, comparando

diferentes tecnologías disponibles en un amplio rango de aplicaciones (solar fotovoltaica, eólica, hidrógeno, etc.) Este programa realiza análisis de sensibilidad y optimización para escoger una combinación ideal de sistemas de generación y encontrar así la alternativa de menor costo que permita satisfacer los diferentes escenarios de demanda de energía eléctrica y térmica.

A continuación se detallan los datos cargados y los cálculos realizados por este software.

Demanda energética

En la sección de Carga Eléctrica (Electric #1) se establecen los datos obtenidos en el perfil de demanda planteado en la primera etapa [Ver Apéndices 3, 4, 5 y 6]. De modo que ahora quedan estipulados en el software, así como también, el perfil diario de demanda energética, como se observa en la siguiente pantalla:

Hour	Weekdays						Weekends					
	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
0	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268
1	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268
2	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268
3	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268
4	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268
5	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268
6	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268
7	0.575	0.575	0.575	0.575	0.575	0.575	0.575	0.575	0.575	0.575	0.575	0.575
8	1.410	1.410	1.570	1.570	1.570	1.570	1.570	1.570	1.490	1.490	1.490	1.410
9	1.472	1.472	1.472	1.472	1.472	1.552	1.552	1.552	1.472	1.472	1.472	1.472
10	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410
11	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410
12	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410
13	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410
14	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410
15	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410
16	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410
17	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410
18	0.108	0.108	0.188	0.188	0.188	0.268	0.268	0.268	0.108	0.108	0.108	0.108
19	0.108	0.108	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.108
20	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268
21	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268
22	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268
23	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268

Ilustración 6. Perfiles de demanda cargados en Homer.

Batería

El proyecto seleccionado requiere un banco de baterías de 24 V. Por lo tanto, en la pestaña COMPONENTS → Storage, seleccionamos la batería Trojan J200-RE, ya que cumple con las

características especificadas para diseñar el sistema: Capacidad = 226 Ah \approx 220 Ah y el voltaje de cada una es de 12 V, con lo cual se trabaja con un String mínimo de 2.

El precio de la misma ha sido extraído de <https://www.solar-electric.com/trojan-j200-re-deep-cycle-renewable-battery.html> (USD 419).

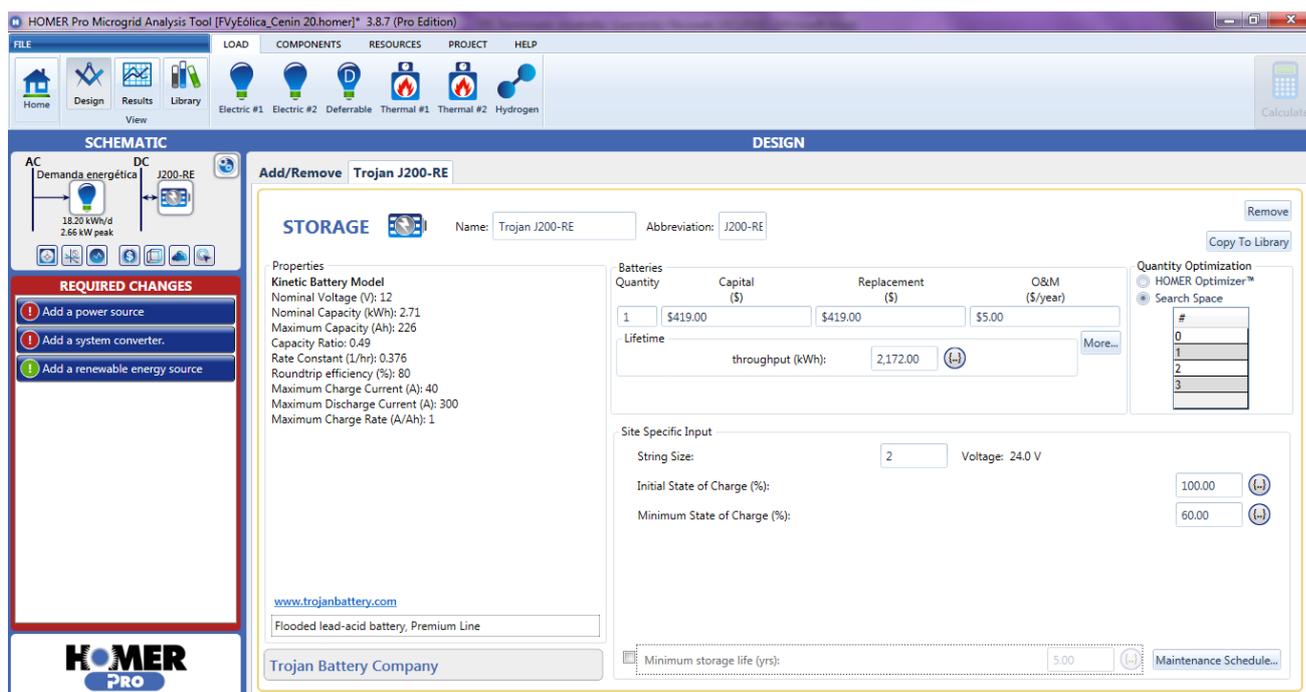


Ilustración 7. Determinación de las características de la batería.

Panel solar

Los datos de radiación solar incidente los descarga el Homer automáticamente de internet, y los mismos coinciden con los calculados en la planilla de solar fotovoltaica.

Para el análisis a desarrollar, se selecciona el panel solar “Generic flat plate PV”, de 120 W de potencia pico, utilizándose para el cálculo alternativas de abastecimiento con 1, 2 y 3 strings en paralelo de 4 paneles en serie cada uno.

Los precios aproximados se obtuvieron en la siguiente página: https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-662334721-panel-solar-120w-12v-36-cel-renogen-monocristalino-tipo-100w- JM?quantity=1#position=7&type=item&tracking_id=e3e7ecac-e347-4a60-b5ef-d920d495475b. Se procede a realizar el cálculo del costo en dólares (tomando como

referencia el dólar a \$75 día 13/08/2020) redondeando a U\$D 130, con un gasto adicional de mantenimiento de aproximadamente U\$D 5 por año.

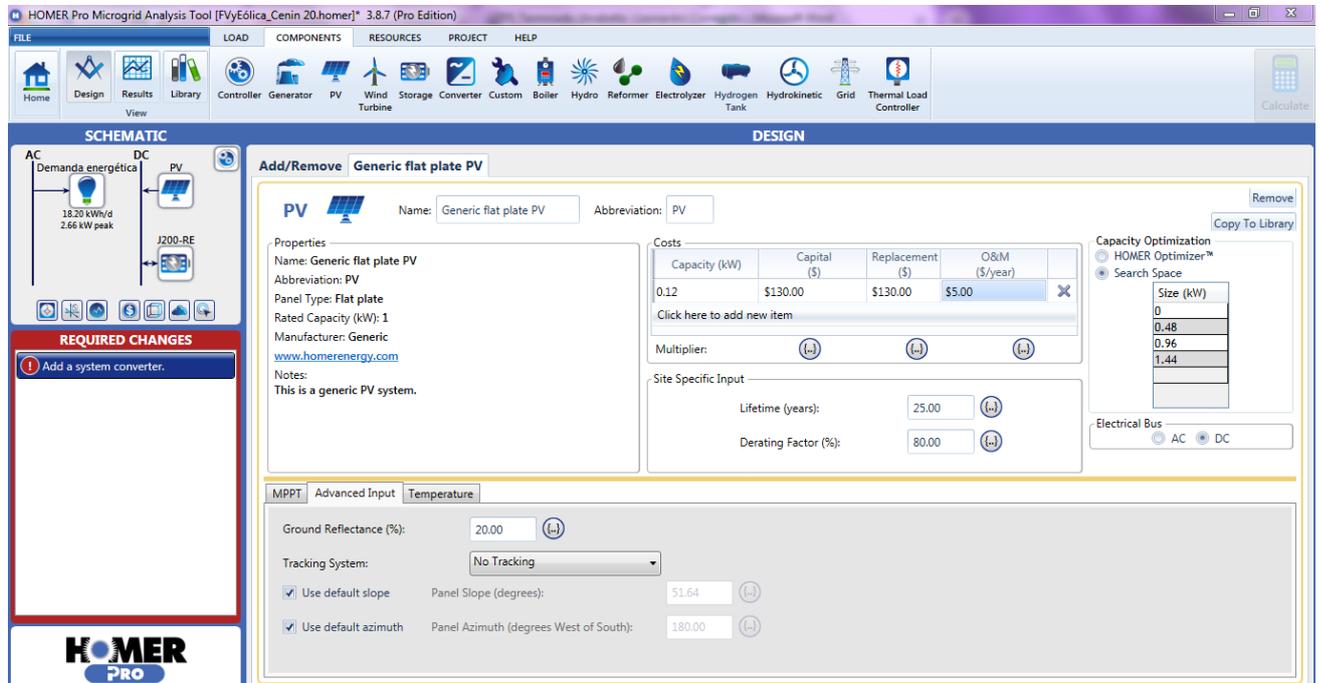


Ilustración 8. Determinación de las características del panel solar.

Inversor

Se contempla el uso de un convertidor para abastecer una demanda (parcial) en corriente alterna. Es decir, que el esquema tendrá dos circuitos: uno de corriente continua y otro de corriente alterna.

Se selecciona el dispositivo electrónico de nombre "System Converter", con una potencia seleccionada de 4 KW.

A través de la página: <https://enertik.com.ar/inversor-de-corriente-cargador-de-baterias-pwm-2000w> se obtiene que aproximadamente el valor es de U\$D 518.

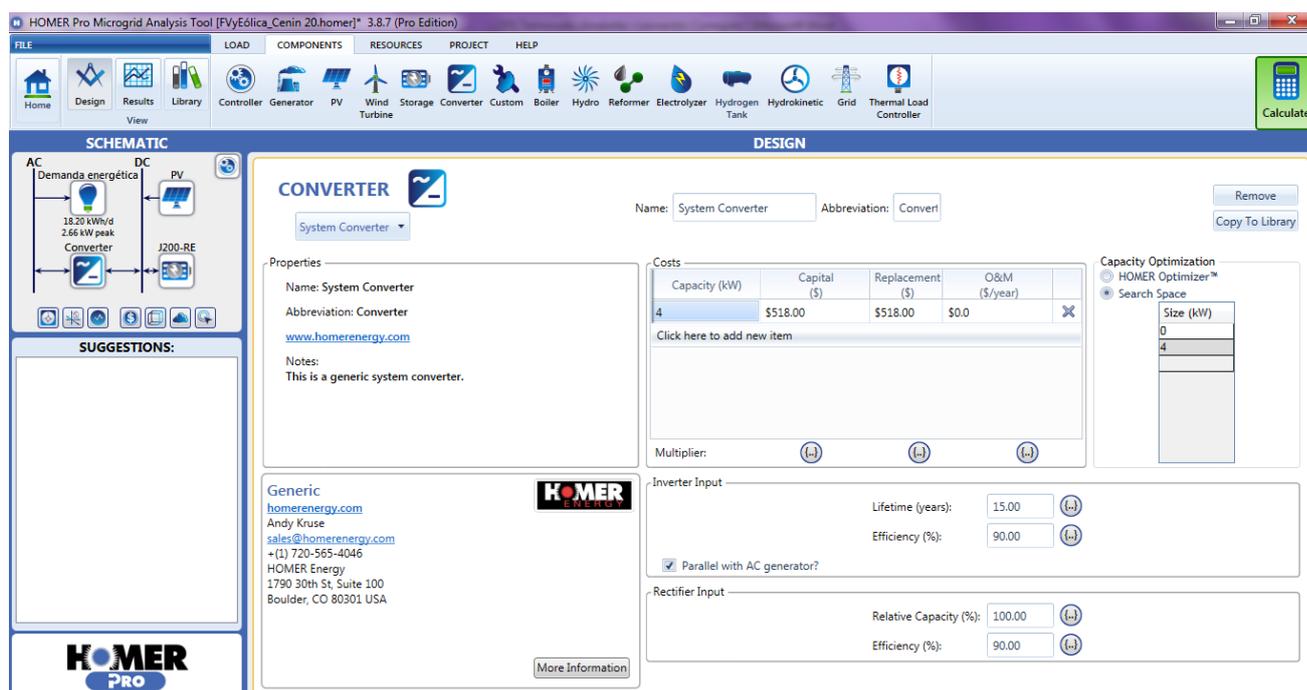


Ilustración 9. Determinación de las características del inversor.

Generador

El generador seleccionado es un Diésel de 10 kW Fixed Capacity Genset debido a que la máxima potencia a cubrir es de 18,7 KW. Cabe destacar que no es suficientemente potente para el sistema en cuestión, pero el siguiente generador contenido en el software ya pasaba a 50 KW y el sistema quedaría sobredimensionado, ya que esta potencia es más del doble que la necesaria.

En esta pantalla también se carga el precio del litro de Diesel, el mismo tiene un valor de USD 0,17.

El precio del generador fue extraído de https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-614459163-generador-de-emergencia-10-kw-kipor-kde12staf3-JM#position=2&type=item&tracking_id=a2881d15-e097-4231-8f16-c47fb2eddf8c (\$AR 390091 ≈ USD 5200).

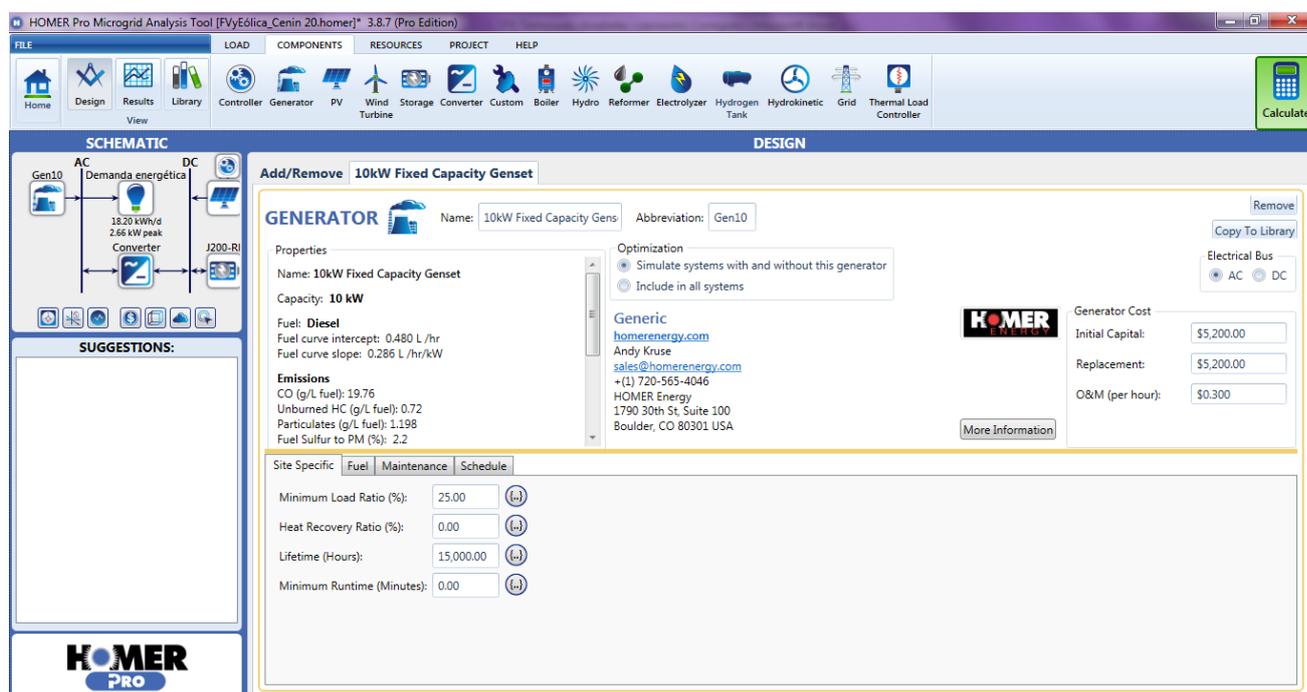


Ilustración 10. Determinación de las características del generador.

Aerogenerador

Los datos de velocidad del viento los descarga el software automáticamente de internet, y los mismos coinciden con los establecidos en la planilla de eólica.

El aerogenerador escogido es un AWS HC 650W Wind Turbine. Tiene una potencia de 650 W y el diámetro del rotor es de 2,2 m.

El precio del mismo ronda los USD 2400 y su mantenimiento cuesta 20 USD/año.

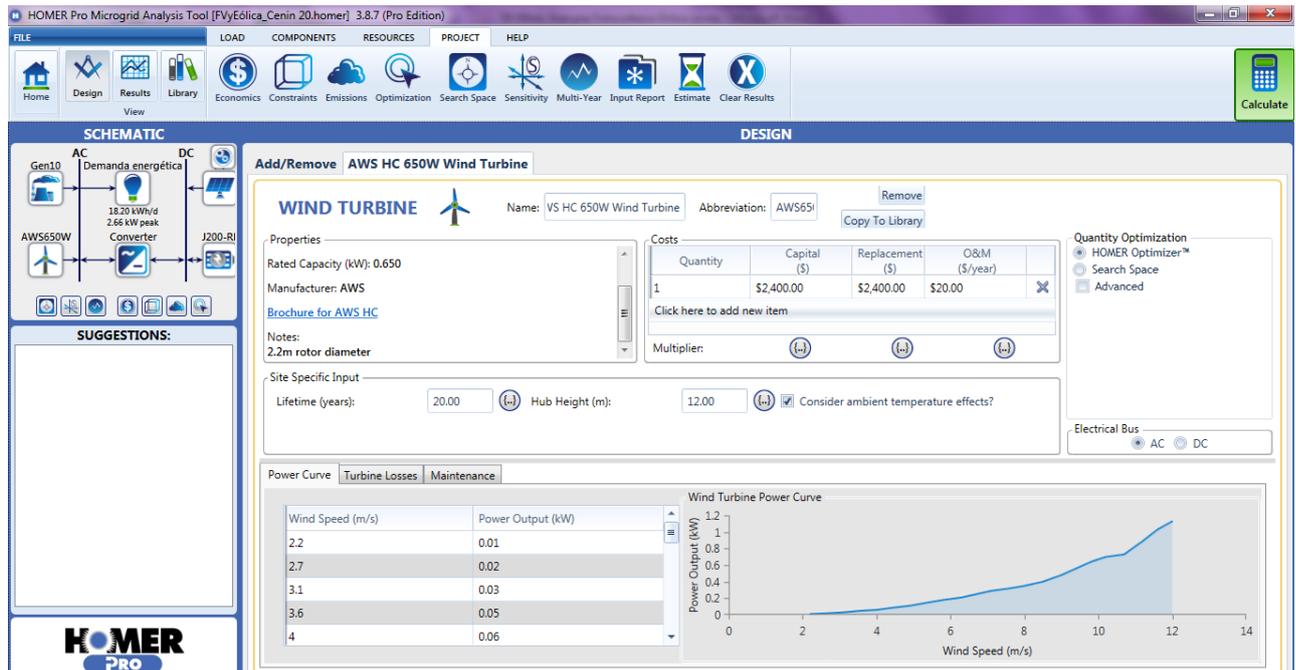


Ilustración 11. Determinación de las características del aerogenerador.

Esquema del sistema

El esquema general del sistema queda conformado de la siguiente manera:

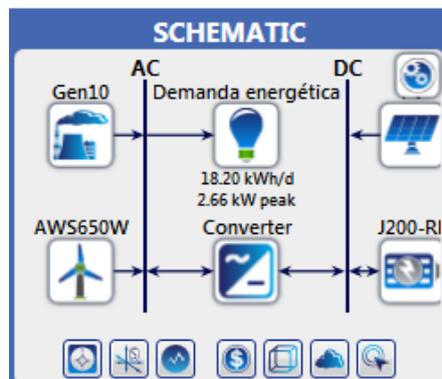


Ilustración 12. Esquema completo del sistema híbrido.

De esta manera ya quedan determinados los artefactos necesarios para abastecer la demanda del Centro de Salud. El último paso es darle la orden al software para que realice los cálculos. En la siguiente pantalla se muestran los resultados.

The screenshot displays the HOMER Pro Microgrid Analysis Tool interface. The 'RESULTS' section is active, showing two tables: 'Sensitivity Cases' and 'Optimization Results'. The 'Optimization Results' table is the primary focus, listing six different system configurations with their respective costs, production, and fuel requirements.

Architecture		Cost			System		Gen10				PV					
PV (kW)	AWS650W	Gen10 (kW)	J200-RE	Converter (kW)	Dispatch	COE (\$)	NPC (\$)	Operating cost (\$)	Initial capital (\$)	Ren. Frac (%)	Hours	Production (kWh)	Fuel (L)	O&M Cost (\$)	Fuel Cost (\$)	Capital Cos (\$)
3.26	3	10.0	10	3.02	LF	\$0.335	\$28,785	\$639.52	\$20,518	93	178	445	213	53	149	3,537
6			18	3.52	CC	\$0.355	\$29,691	\$564.15	\$22,398	100						
11.3	1		24	2.65	CC	\$0.392	\$32,941	\$609.36	\$25,064	100						12,264
	4	10.0	16	2.88	LF	\$0.391	\$33,590	\$906.01	\$21,877	87	345	862	412	104	289	
7.88		10.0	18	2.99	CC	\$0.448	\$38,460	\$1,299	\$21,668	72	410	1,846	725	123	507	8,539
17.1			28	2.83	CC	\$0.500	\$41,659	\$856.07	\$30,592	100						18,493

Ilustración 13. Resultados calculados por el Homer.

Resultados

El programa muestra como resultados seis opciones de configuración diferentes posibles. Sin embargo, la más viable es también la única que contiene todos los componentes que se han establecido anteriormente.

El cálculo refinado entonces da como resultado que el sistema debe estar compuesto por:

- 28 paneles solares Generic flat plate PV, de 120W de potencia pico.
- 3 aerogeneradores AWS HC 650W Wind Turbine, de 650 W de potencia.
- 1 generador de 10 KW Fixed Capacity Genset.
- 10 baterías J200-RE de 12 V cada una.
- 1 inversor System Converter de 4 KW.

De esta forma, el 93% de la demanda energética estaría cubierta por energías renovables. El otro 7% sería provisionado por el generador.

El costo total de este sistema híbrido para que logre abastecer la demanda del Centro de Salud N°20 es de USD 28785.

Diagrama de bloques del sistema

Los dispositivos calculados mencionados deben estar conectados entre sí según el siguiente diagrama:

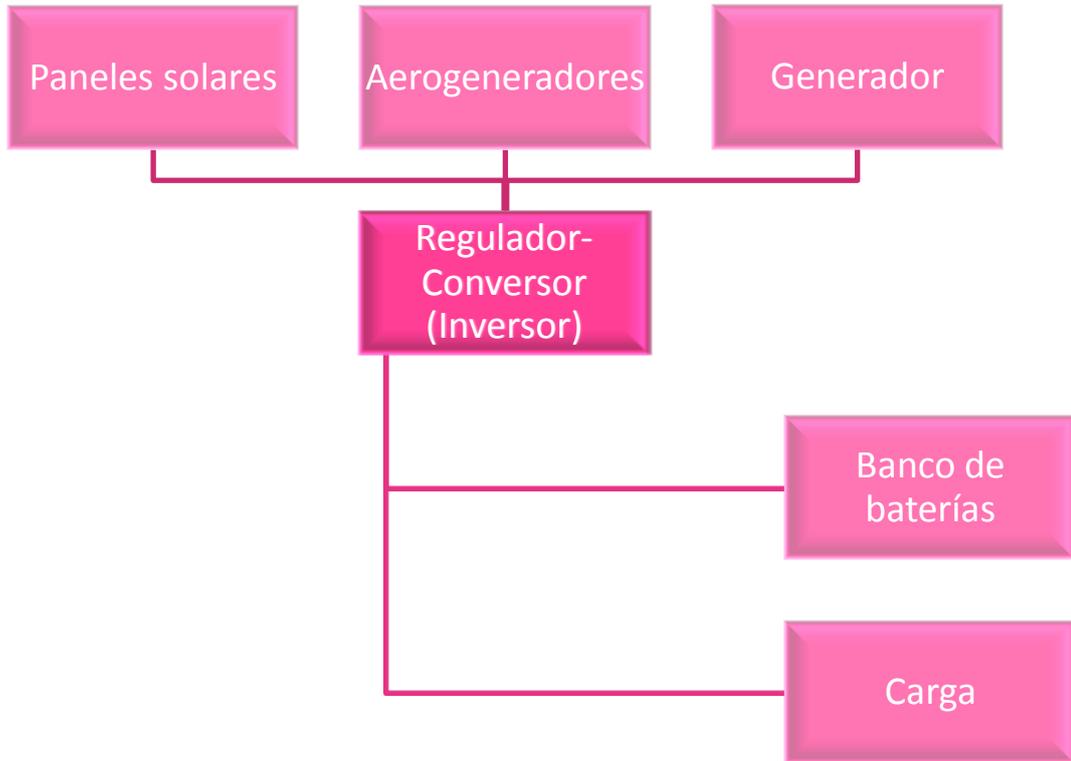


Diagrama 1. Diagrama de bloques del sistema

Conclusión

A partir de los cálculos realizados en el desarrollo del trabajo práctico, se concluye que los elementos necesarios para cubrir la demanda energética del Centro de Salud N°20 son:

- 28 paneles solares Generic flat plate PV, de 120W de potencia pico.
- 3 aerogeneradores AWS HC 650W Wind Turbine, de 650 W de potencia.
- 1 generador de 10 KW Fixed Capacity Genset.
- 10 baterías J200-RE de 12 V cada una.
- 1 inversor System Converter de 4 KW.

Con este sistema híbrido de energía solar fotovoltaica y eólica se puede cubrir el 93% de la demanda energética solo con estas energías renovables. El costo total del mismo, incluyendo fletes, montajes, instalación y gastos administrativos es de USD 28785.

Comparado con los resultados de los cálculos iniciales aproximados, se puede observar que la cantidad de aerogeneradores necesarios coinciden siendo 3. Sin embargo, la cantidad de paneles solares tiene una diferencia de 22, ya que con la planilla de solar fotovoltaica se obtuvo un resultado de 50 paneles necesarios de las mismas características, pero hay que tener en cuenta que en este caso no se contaba con un generador.

Anexo 4. Perfil diario de demanda energética en otoño

Lugar	Artefacto	Pot. [W]	Cant.	Horas del día																				
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Consultorios (11)	Lámpara techo	12	11								0.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
	PC portátil	65	11								0.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
Baños (3)	Lámpara techo	8	5								0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25		
	Lámpara techo	12	2								0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50		
Cocina	Heladera	180	1	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30		
	Lámpara techo	8	1								1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
Farmacia	Heladera	180	1	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30		
	Lámpara techo	8	1								1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
Sala de espera	TV	40	1								1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
	Altavoces	23	1								1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
Recepción	Lámparas techo	12	6								0.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
	Lámparas techo	8	2								0.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
Pasillos	PC portátil	65	2								0.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
	Impresora	25.2	1								0.25	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30		
Sala de personal	Lámpara techo	8	14								0.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
	Lámparas techo	12	2								0.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
Exterior	TV	40	1								0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50		
	Lámparas	8	20	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
	Bomba elevadora	125	1																		0.50	1.00	1.00	
Energía demandada por hora [KWh]				0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.575	1.570	1.472	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410

Anexo 5. Perfil diario de demanda energética en invierno

Lugar	Artefacto	Pot. [W]	Cant.	Horas del día																					
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Consultorios (11)	Lámpara techo	12	11								0.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			
	PC portátil	65	11								0.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			
Baños (3)	Lámpara techo	8	5								0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25			
	Lámpara techo	12	2								0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50			
Cocina	Heladera	180	1	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30			
	Lámpara techo	8	1								1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			
Farmacia	Heladera	180	1	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30			
	Lámpara techo	8	1								1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			
Sala de espera	TV	40	1								1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			
	Altavoces	23	1								1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			
Recepción	Lámparas techo	12	6								0.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			
	Lámparas techo	8	2								0.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			
Pasillos	PC portátil	65	2								0.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			
	Impresora	25.2	1								0.25	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30			
Sala de personal	Lámpara techo	8	14								0.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			
	Lámparas techo	12	2								0.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			
Exterior	TV	40	1								0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50			
	Lámparas	8	20	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			
	Bomba elevadora	125	1																			1.00	1.00		
Energía demandada por hora [KWh]				0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.575	1.570	1.552	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	

Anexo 6. Perfil diario de demanda energética en primavera

Lugar	Artefacto	Pot. [W]	Cant.	Horas del día																						
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
Consultorios (11)	Lámpara techo	12	11								0.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00				
	PC portátil	65	11								0.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00				
Baños (3)	Lámpara techo	8	5								0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25				
	Lámpara techo	12	2								0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50				
Cocina	Heladera	180	1	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30				
	Lámpara techo	8	1								1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00				
Farmacia	Heladera	180	1	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30				
	Lámpara techo	8	1								1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00				
Sala de espera	TV	40	1								1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00				
	Altavoces	23	1								1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00				
Recepción	Lámparas techo	12	6								0.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00				
	Lámparas techo	8	2								0.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00				
Pasillos	PC portátil	65	2								0.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00				
	Impresora	25.2	1								0.25	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30				
Sala de personal	Lámpara techo	8	14								0.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00				
	Lámparas techo	12	2								0.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00				
Exterior	TV	40	1								0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50				
	Lámparas	8	20	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00				
	Bomba elevadora	125	1																			1.00	1.00			
Energía demandada por hora [KWh]				0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.575	1.490	1.472	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410			

Webgrafía

- <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- <https://es.weatherspark.com/y/27031/Clima-promedio-en-R%C3%ADo-Gallegos-Argentina-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- <https://www.electrocalculator.com/>
- <https://www.xatakahome.com/iluminacion-y-energia/como-elegir-la-bombilla-led-correcta-para-cada-necesidad-especial-iluminacion-led#:~:text=L%C3%BAmenes%20reales%20%3D%20al%20n%C2%BA%20de,potencia%20lum%C3%ADnica%20de%20840%20lm.>
- https://www.lainformacion.com/espana/como-iluminar-salon-cocina-bano-pasillo-cuadro-ahorrar_0_989001564.html
- https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-743539872-generator-fema-20kw-380v-insonorizado-arranque-electrico-_JM?quantity=1#position=1&type=item&tracking_id=4a804904-a332-4ec5-a797-6a07bd7329ae
- <https://tiendamelex.com.ar/shop/producto/trojan-t-105/>
- <https://enertik.com.ar/inversor-de-corriente-cargador-de-baterias-pwm-2000w>
- <https://www.solar-electric.com/trojan-j200-re-deep-cycle-renewable-battery.html>
- <https://solar-energia.net/>