

U.N.P.A

Universidad Nacional de la Patagonia Austral

PROYECTO FINAL:

**EMPRENDIMIENTO LOCALIDAD DE LAGO
PUELO (CHUBUT)**

ENERGIAS RENOVABLES

**MODULOS: ENERGÍA EÓLICA / ENERGÍA
SOLAR FOTOVOLTAICA**

AÑO: 2016

Alumno: Soto González Fabián

DNI: 35569706

Profesores a Cargo: Oliva, Rafael

Lescano, Jorge

Objetivo

Para el proyecto final de la materia Energías Renovables, que se basa en un proyecto, en este caso real, en la localidad de Lago Puelo, Provincia de Chubut, para el dimensionamiento y posterior instalación de un sistema Solar Fotovoltaico junto con un sistema de aprovechamiento de Energía Eólica, los objetivos son los siguientes:

En primer lugar se presentará una planilla con una simulación de la cantidad de artefactos eléctricos y su correspondiente uso diario para de esta manera poder calcular la demanda energética del sitio ubicado en la localidad elegida.

Luego se construirán perfiles de demanda que variará 4 veces en el año, es decir una por estación. De esta manera se tendrá una demanda energética para cada mes del año, que se utilizará para los cálculos aproximados iniciales, y a la vez se podrá establecer la potencia (simultánea) máxima a cubrir (necesaria para la determinación de las dimensiones de ciertos componentes (convertidores, reguladores, etc.).

El paso siguiente es determinar latitud y longitud de Lago Puelo en este caso y así buscar en la página de la NASA¹ los datos inherentes a recurso solar y eólico correspondientes.

Se procederá a hacer los cálculos aproximados para estimar la cantidad y modelo más conveniente de los componentes del sistema, realizando el cálculo en primer lugar como si el sistema sólo fuese eólico (50% de la demanda) y luego como si el sistema solo fuese solar fotovoltaico (50% restante).

En el caso del recurso eólico se van a definir cantidad y modelo de baterías, aerogeneradores, inversor y costos aproximados del sistema en su totalidad. Se definirá una tensión de trabajo CC de 48 V.

¹ <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi>

Introducción

En este proyecto se trabajará sobre un recinto de 5 cabañas con fines turísticos las cuales estarán equipadas con artefactos eléctricos de igual manera.



Se hará un trabajo de investigación en cuanto a los costos actuales en nuestro país, tanto de los elementos constitutivos del proyecto como así también los costos de fletes e instalación, para de esta manera dar un panorama real de cuánto saldría el proyecto en su totalidad y definir si el mismo es sustentable a lo largo del tiempo, ya que se necesitan obtener ciertos beneficios para poder implementarlo.

Finalmente los datos cargados en las planillas se llevarán al software HOMER para poder tener una mejor perspectiva de la simulación y así poder visualizar si con nuestros cálculos previos el proyecto se puede llevar a cabo y cómo sería el funcionamiento del mismo.

Desarrollo

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Planillas EXCEL – Perfiles de carga

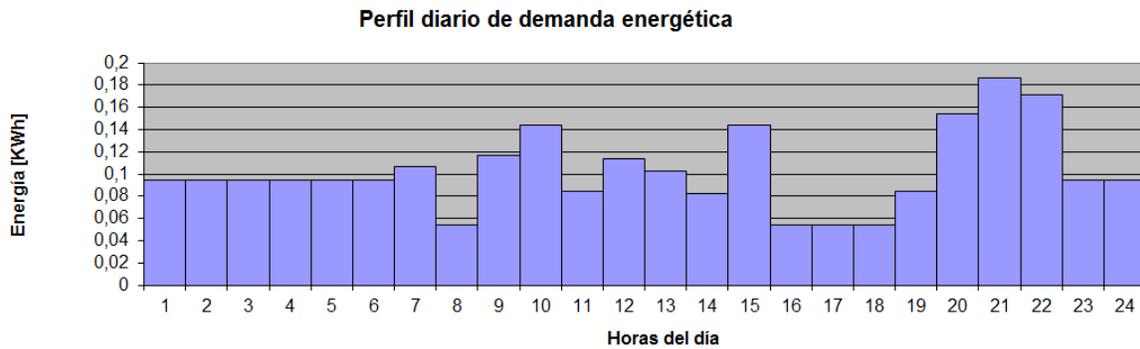
En primer lugar, procedimos a extraer los datos de la energía radiante en KWh referentes a la localidad de Lago Puelo, provincia de Chubut, de la página oficial de la nasa (Latitud= $-42,1^{\circ}$, Longitud= $-71,6^{\circ}$); para lo cual ingresamos los valores de latitud y longitud correspondientes a la misma (tomando el valor negativo por estar en el Polo Sur). Luego esos datos fueron copiados a la planilla Excel “Solver”, modificándolos en otra columna para pasar los datos que estaban en kWh/m² día a la unidad de KJ/m² día (multiplicando cada dato de energía por 3,6). Mencionados datos fueron multiplicados por los días correspondientes a cada mes del año para obtener la energía mensual, y la suma de las mismas darnos la radiación anual.

Nuestro interés en particular esta en agrupar los datos de energía por estación del año, obteniendo diferentes valores de ángulos de inclinación de los paneles, para invierno, verano, otoño y primavera; para luego poder maximizarlos con la ayuda de la herramienta Solver de Excel, manteniendo el ángulo fijo para cada mes. Cuando los mismos se vieron modificados por la maximización, procedimos a verificar las horas pico solares, pero ésta vez para cada mes del año en particular, y lo copiamos en la tabla de **“Promedio Mensual de Horas Pico Solar para un plano inclinado óptimo”**.

Repetimos el procedimiento hasta completar la tabla para poder trasladarlos a la solapa **“Planillas”** del documento y así obtener el número de baterías como el número de paneles que va a requerir nuestro sistema, habiendo copiado previamente la demanda energética diaria promedio proveniente de los perfiles de carga creados para éste trabajo, los cuales fueron INVIERNO, VERANO, OTOÑO Y PRIMAVERA. Estos datos fueron posibles de tomar copiando el Perfil Diario de Carga propuesto con los siguientes detalles (añadiendo la fracción horaria de encendido de cada aparato, lo cual se detalla en las planillas anexas al trabajo):

Lugar	Artefacto	Potencia [W]	Cantidad
Dormitorio 1	Lámpara techo	15	1
	Velador	11	2
	TV LCD	150	1
Dormitorio 2	Lámpara techo	15	1
	Velador	11	2
	TV LCD	150	1
Baño	Lámpara techo	15	1
	Secador pelo	825	1
Cocina/Comedor	Lámpara techo	15	2
	Microondas	640	1
	Heladera	220	1
Living	Lámpara techo	15	2
	Equipo música	120	1
Exterior	Lámparas	15	2

Se debe tener en cuenta que el perfil de carga va a variar dependiendo la estación del año, en donde por ejemplo, en **invierno** (se muestra a continuación) se hará más uso de las lámparas exteriores que en la temporada de verano o primavera donde hallamos más recurso solar.



Hora	Energía	
1	0,341	PERFIL DE DEMANDA PARA HOMER
2	0,03	
3	0,03	
4	0,03	
5	0,03	
6	0,03	
7	0,05	
8	0,06	
9	0,078	
10	0,46125	
11	0,18	
12	0	
13	0,253	
14	0,0825	
15	0,1875	
16	0,15	
17	0,3	
18	0,033	
19	0,15	
20	0,2175	
21	0,255	
22	0,4775	
23	0,2285	
24	0,254	
Demanda diaria promedic	3908,75 Wh	5 cabañas
		19543,75 Wh
		Mitad de demanda
		9771,875

DATOS	
Panel	
PPP = Potencia Pico del Panel [W]	150
Batería	
CAP = Capacidad [Ah]	230
VOLT = Tensión de la Batería [V]	12
ND = Nivel de Descarga	40%
T = Numero de días sin generación	2
Eficiencia del sistema	0,684
ER = Eficiencia del Regulador	0,95
EB = Eficiencia de las Baterías	0,80
EC = Eficiencia del Convertidor	0,90
FS = Factor de seguridad	1,15

MES	Nº DIAS	HPS (sobre plano inclinado óptimo)	CE= PM* TU	ES	NP=CE*FS / (PPP*HPS* ES) a 60°	NB
ENERO	31	5,58210487	7808,125	0,684	15,68	15,72
FEBRERO	28	5,61905838	7808,125	0,684	15,58	15,72
MARZO	31	4,385296	8623,75	0,684	22,04	17,36
ABRIL	30	3,5465746	8623,75	0,684	27,25	17,36
MAYO	31	2,88581918	8623,75	0,684	33,49	17,36
JUNIO	30	2,4029867	9771,875	0,684	45,58	19,67
JULIO	31	2,69119427	9771,875	0,684	40,70	19,67
AGOSTO	31	2,93343967	9771,875	0,684	37,34	19,67
SEPTIEMBRE	30	3,58392604	8998,125	0,684	28,14	18,11
OCTUBRE	31	4,477783	8998,125	0,684	22,52	18,11
NOVIEMBRE	30	5,06419146	8998,125	0,684	19,92	18,11
DICIEMBRE	31	5,32853025	7808,125	0,684	16,42	15,72

Este conjunto de datos obtenidos anteriormente, tales como consumo diario, cantidad de baterías, cantidad de paneles, recurso solar promedio en las estaciones de acuerdo a la zona de análisis, son de utilidad para volcarlos en el software HOMER para proceder al modelado del sistema fotovoltaico.

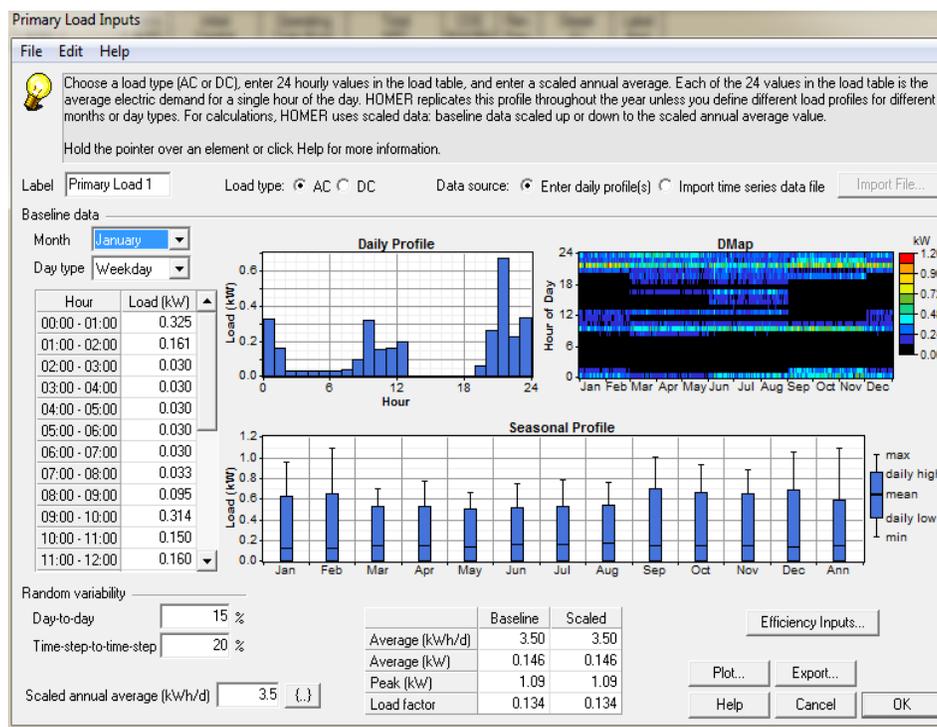
Modelado del sistema en el software HOMER

En primer lugar se procedió a colocar los componentes del sistema fotovoltaico, de acuerdo a nuestras necesidades, el cual está compuesto por:

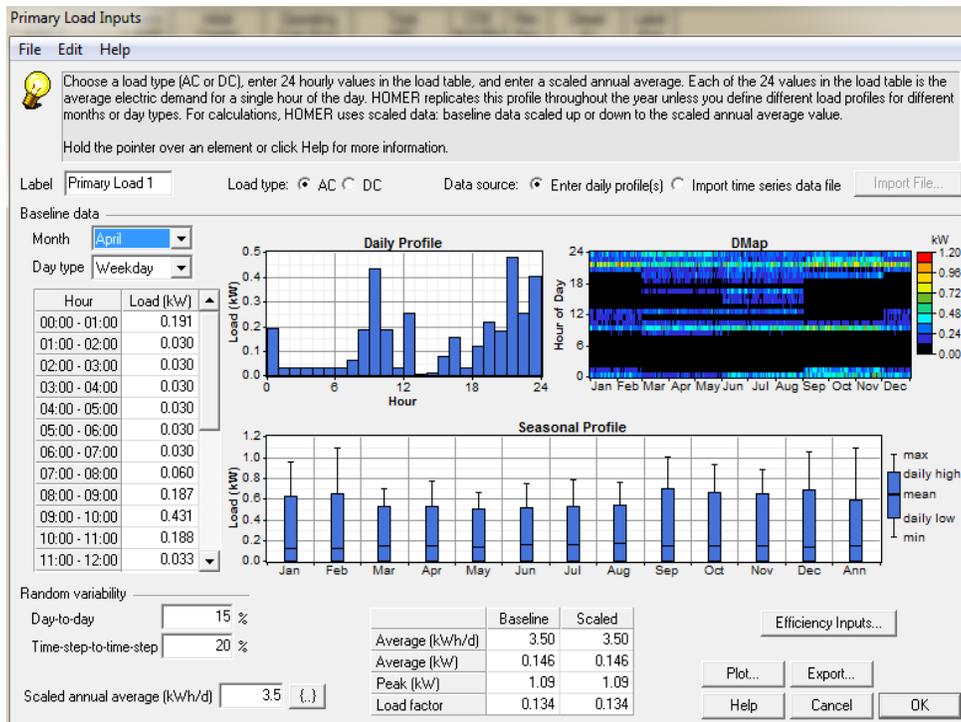
- **Carga primaria**

En primer lugar se realizó la carga de los perfiles de demanda para los meses de septiembre a febrero (temporada verano) y luego para los meses de marzo hasta agosto (temporada invierno), de donde se puede obtener el grafico del perfil de carga para todo el año .

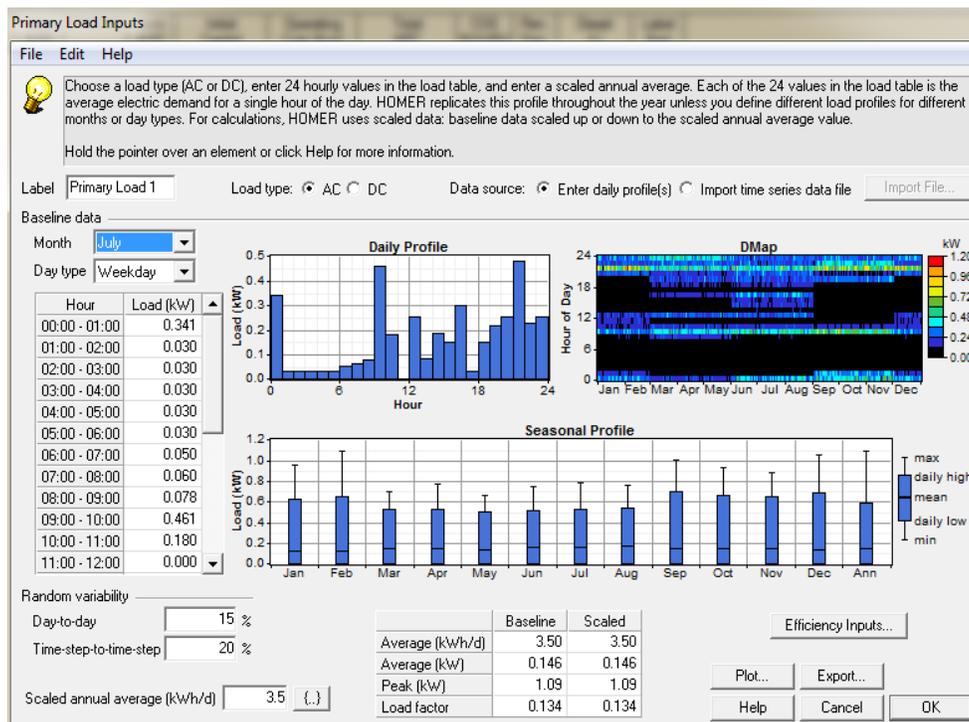
Perfil de carga VERANO (Diciembre a Febrero):



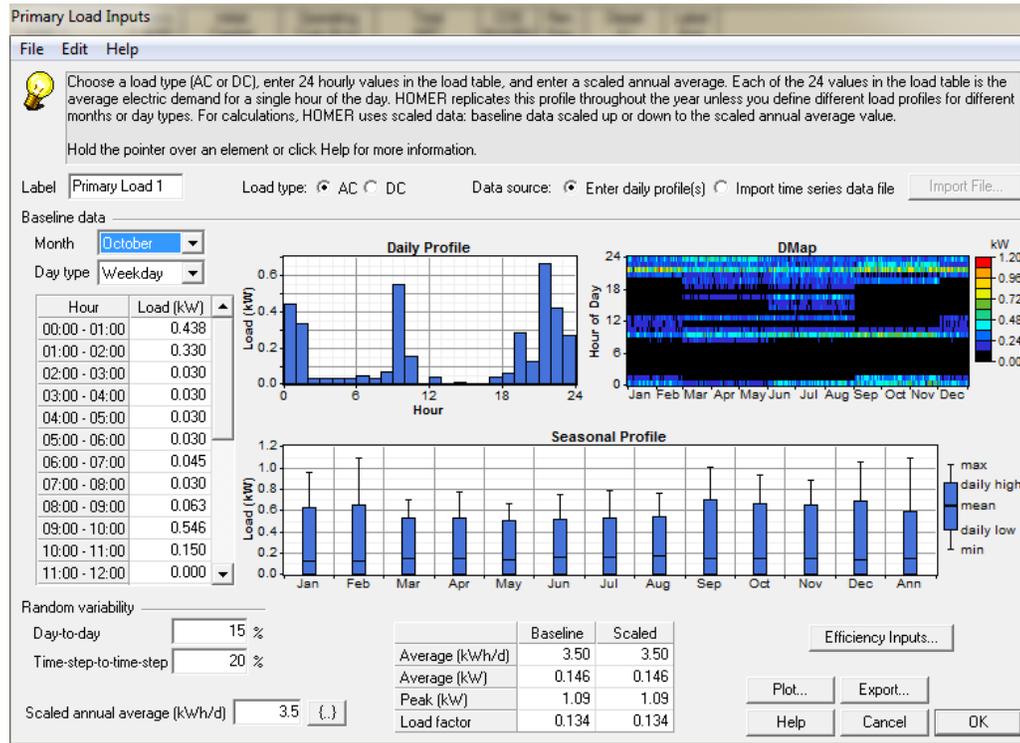
Perfil de carga OTOÑO (Marzo a Mayo):



Perfil de carga INVIERNO (Junio a Agosto):



Perfil de carga PRIMAVERA (Septiembre a Noviembre):



- **Batería – Autobat Solar I-29 12V/230Ah**



La batería fue elegida de acuerdo a los requerimientos de Ah y el voltaje de salida requerido para satisfacer **la mitad de la de la demanda** del complejo (ya que la otra mitad será completada con el aprovechamiento de energía eólica).

Haciendo el cálculo teórico para el numero de baterías (NB) para el período de menor recurso solar (Invierno) y para un estimativo de 2 días sin recurso, nos da un total de aproximadamente 20 baterías (5 strings de 4 baterías).

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

$$NB = \frac{(9771,875Wh/dia \times 2dias)}{(230Ah \times 12V \times 0,9 \times 0.4)} = 19,67$$

La planilla nos devuelve un valor de 18,94 baterías, por lo tanto usaremos **20** de las mismas, formando **5 strings de 4 baterías**.

Battery Inputs

File Edit Help

Choose a battery type and enter at least one quantity and capital cost value in the Costs table. Include all costs associated with the battery bank, such as mounting hardware, installation, and labor. As it searches for the optimal system, HOMER considers each quantity in the Sizes to Consider table.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Battery type: Vision 6FM200D [Details...] [New...] [Delete]

Battery properties:

Manufacturer: Vision Battery
 Website: www.vision-batt.com

Nominal voltage: 12 V
 Nominal capacity: 200 Ah (2.4 kWh)
 Lifetime throughput: 917 kWh

Costs

Quantity	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
1	7076	7076	50.00
	{}	{}	{}

Sizes to consider

Strings
0
1
2
3
4
5

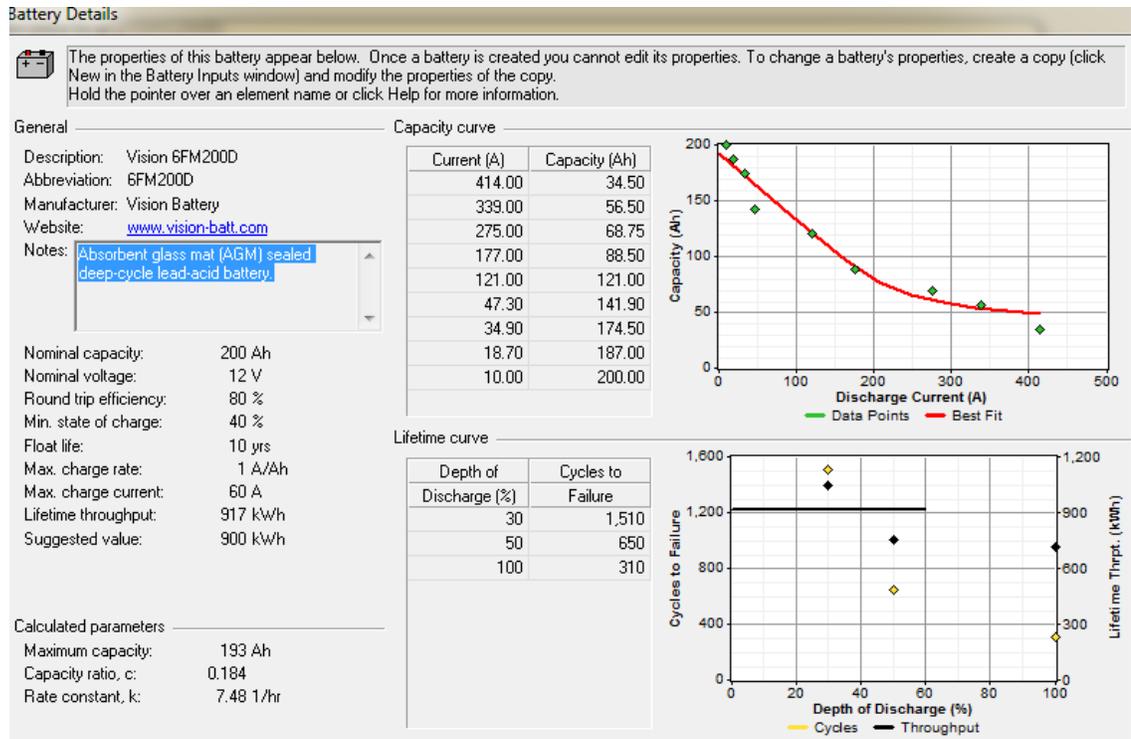
Advanced

Batteries per string: 4 (48 V bus)

Minimum battery life (yr): 4 {}

Cost Curve

Quantity	Capital Cost (000 \$)	Replacement Cost (000 \$)
0	0	0
1	~7	~14
2	~14	~28
3	~21	~42
4	~28	~56
5	~35	~70
6	~42	~84
7	~49	~98
8	~56	~112
9	~63	~126
10	~70	~140
11	~77	~154
12	~84	~168
13	~91	~182
14	~98	~196
15	~105	~210
16	~112	~224
17	~119	~238
18	~126	~252
19	~133	~266
20	~140	~280



- **Módulo Fotovoltaico – KS150T-24V (150 W)**

Los módulos Solartec son fabricados en base a celdas fotovoltaicas de silicio policristalino de alta eficiencia. La eficiencia de conversión de estas celdas es superior al 14%.

SOLARTEC®

KS150T-24V

**MODULO FOTOVOLTAICO
 POLICRISTALINO
 DE ALTO RENDIMIENTO**

POTENCIA NOMINAL 150 Wp

INDUSTRIA ARGENTINA



La potencia del panel fue elegida de acuerdo a una cantidad no excesiva de los mismos, por lo cual para la demanda requerida se utilizaron paneles de 250 Wh.

$$N = \frac{CE}{PPP \bullet HPS \bullet ES}$$

$$N = \frac{9771,875Wh}{250W \times 2,676 \times 0,684} = 40,9 \text{ paneles}$$

El resultado de la planilla para la cantidad de paneles fue de 45,6. Es decir, utilizaremos **48 paneles** de 250Wh cada uno, formando para ello 12 strings de 4.

PV Inputs

File Edit Help

Enter at least one size and capital cost value in the Costs table. Include all costs associated with the PV (photovoltaic) system, including modules, mounting hardware, and installation. As it searches for the optimal system, HOMER considers each PV array capacity in the Sizes to Consider table.

Note that by default, HOMER sets the slope value equal to the latitude from the Solar Resource Inputs window.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Costs

Size (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
0.150	5852	5852	100
(.)	(.)	(.)	(.)

Sizes to consider

Size (kW)

- 0.000
- 0.600
- 1.200
- 1.800
- 2.400
- 3.000
- 3.600

Cost Curve

Properties

Output current AC DC

Lifetime (years) (.)

Derating factor (%) (.)

Slope (degrees) (.)

Azimuth (degrees W of S) (.)

Ground reflectance (%) (.)

Advanced

Tracking system

Consider effect of temperature

Temperature coeff. of power (%/°C) (.)

Nominal operating cell temp. (°C) (.)

Efficiency at std. test conditions (%) (.)

- **Convertidor (3500 w) – QMAX 3548SP-C 48V**



Poseen, como característica de alto valor, una alta corriente de arranque de hasta 3,5 veces sus potencia nominal, llegando a picos de 12200W, posibilitando el encendido de motores y compresores sin necesidad de un equipo de mayor potencia.

El convertidor fue elegido de acuerdo a la máxima cantidad de intensidad de corriente que puede soportar el banco de baterías y también de acuerdo a la intensidad requerida por los artefactos del hogar.

Converter Inputs

File Edit Help

 A converter is required for systems in which DC components serve an AC load or vice-versa. A converter can be an inverter (DC to AC), rectifier (AC to DC), or both.

Enter at least one size and capital cost value in the Costs table. Include all costs associated with the converter, such as hardware and labor. As it searches for the optimal system, HOMER considers each converter capacity in the Sizes to Consider table. Note that all references to converter size or capacity refer to inverter capacity.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Costs

Size (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
3.500	47749	47749	200
{}	{}	{}	{}

Sizes to consider

Size (kW)
0.000
3.500
7.000
10.500
14.000

Inverter inputs

Lifetime (years) {}

Efficiency (%) {}

Inverter can operate simultaneously with an AC generator

Rectifier inputs

Capacity relative to inverter (%) {}

Efficiency (%) {}

Cost Curve

Size (kW)	Capital (000 \$)	Replacement (000 \$)
0	0	0
3.5	~48	~96
7.0	~96	~192
10.5	~144	~288
14.0	~192	~384

- Se determina la potencia del conversor tomando en cuenta la ,mayor potencia simultaneas requerida pos los artefactos que se encienden a una determinada hora .En nuestro caso reemplazamos las fracciones en el perfil diario de demanda energética por valores enteros (unos) ,específicamente n el horario de las 22 pm (invierno) que es donde se registra la mayor potencia requerida .El valor obtenido luego de hacer este cálculo es de aproximadamente 2000 W, por lo que multiplicando este valor aproximadamente por 1,75 (tomando esto como un parámetro de seguridad), obtenemos una potencia para nuestro conversor de 3500 W.

El software también nos grafica la cantidad de **recurso energético** disponible que hay a lo largo del año dando una claro decrecimiento en los meses correspondientes a las estaciones de otoño e invierno.

Solar Resource Inputs

File Edit Help

 HOMER uses the solar resource inputs to calculate the PV array power for each hour of the year. Enter the latitude, and either an average daily radiation value or an average clearness index for each month. HOMER uses the latitude value to calculate the average daily radiation from the clearness index and vice-versa.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Location

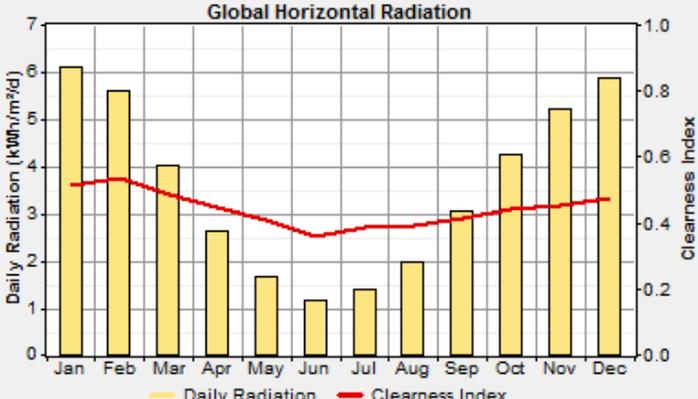
Latitude ° ' North South Time zone

Longitude ° ' East West

Data source: Enter monthly averages Import time series data file

Baseline data

Month	Clearness Index	Daily Radiation (kWh/m ² /d)
January	0.511	6.110
February	0.536	5.620
March	0.485	4.020
April	0.445	2.620
May	0.406	1.650
June	0.359	1.170
July	0.385	1.390
August	0.392	1.990
September	0.416	3.040
October	0.439	4.260
November	0.453	5.230
December	0.474	5.860
Average:	0.456	3.552



Scaled annual average (kWh/m²/d)

Con esta información, y habiendo suplido la mitad de la demanda de las cabañas con **Energía Solar Fotovoltaica**, estamos listos para proceder a hacer los cálculos de aerogeneradores, baterías e inversores que necesitaremos para proveer la energía faltante a nuestro sistema con el aprovechamiento de la **Energía Eólica**.

ENERGIA EÓLICA

Resumen General del Trabajo

En primer lugar dispusimos a hacer un cálculo del requerimiento energético, el cual es la mitad del total (ya que la otra es cubierta con energía solar fotovoltaica), siendo el mismo de aproximadamente **9700 Wh**.

Luego completamos los datos necesarios para realizar el cálculo de baterías necesarias para nuestra instalación, siendo los mismos, tensión de cada batería (**12V**), capacidad nominal (**230Ah**), tensión de trabajo (**48V**), y modificando el rendimiento del inversor a **90%** y el nivel de descarga a 35 %. Este paso tiene como consecuencia elegir una cantidad de baterías, la cual para nuestro proyecto será de **16** con un costo unitario aproximado de \$3.160 por cada una.

El paso siguiente fue calcular la cantidad de aerogeneradores a instalar en nuestro sitio, lo cual fue calculando transcribiendo la pendiente y la ordenada al origen de la función de velocidad media del viento en función de el promedio diario de energía, dando éste análisis un resultado de **2 aerogeneradores**.

Para el cálculo del inversor se tuvo en cuenta la potencia nominal y la potencia pico requeridas como así también la capacidad del mismo, dejando plasmado el costo unitario del mismo que es de **\$54.650**.

Finalmente nos dispusimos a completar la tabla de costos aproximados del proyecto, teniendo en cuenta la cantidad de cada elemento constitutivo de la instalación, su precio unitario y el precio total a pagar incluyendo el iva, lo cual nos da un costo final de **\$95.760** (en nuestra planilla de Excel).

Elección del aerogenerador

Al tener una cantidad de 7 aerogeneradores en nuestra instalación seleccionamos el modelo **BWCXL1 de 1Kw** cada uno (para corriente continua). En el gráfico se puede ver su curva de trabajo junto con las demás especificaciones de los mismos.



La turbina eólica **BWC XL.1-24** es un pequeño generador diseñado para cargar baterías y suministrar cargas eléctricas en 24V a corriente continua.

Cuando es utilizado en conjunto con un inversor situable de corriente continua a alterna y un banco de baterías de 24 V, este aerogenerador también puede ser conectado a la red eléctrica.

Wind Turbine Inputs

File Edit Help

Choose a wind turbine type and enter at least one quantity and capital cost value in the Costs table. Include the cost of the tower, controller, wiring, installation, and labor. As it searches for the optimal system, HOMER considers each quantity in the Sizes to Consider table.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Turbine type: Details... New... Delete

Turbine properties

Abbreviation: XL1 (used for column headings)
 Rated power: 1 kW DC
 Manufacturer: Bergey Windpower
 Website: www.bergey.com

Costs

Quantity	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
1	184450	184450	5000

Other

Lifetime (yrs)

Hub height (m)

Sizes to consider

Quantity
0
1
3
5
7

Power Curve

Cost Curve

Wind Turbine Details

The properties of this wind turbine appear below. Once a wind turbine is created you cannot edit its properties. To change a turbine's properties, create a copy (click New in the Wind Turbine Inputs window) and modify the properties of the copy.

Hold the pointer over an element name or click Help for more information.

General

Description: BWCXL1
 Abbreviation: XL1
 Rated power: 1 kW DC
 Manufacturer: Bergey Windpower
 Website: www.bergey.com

Notes:

Power curve

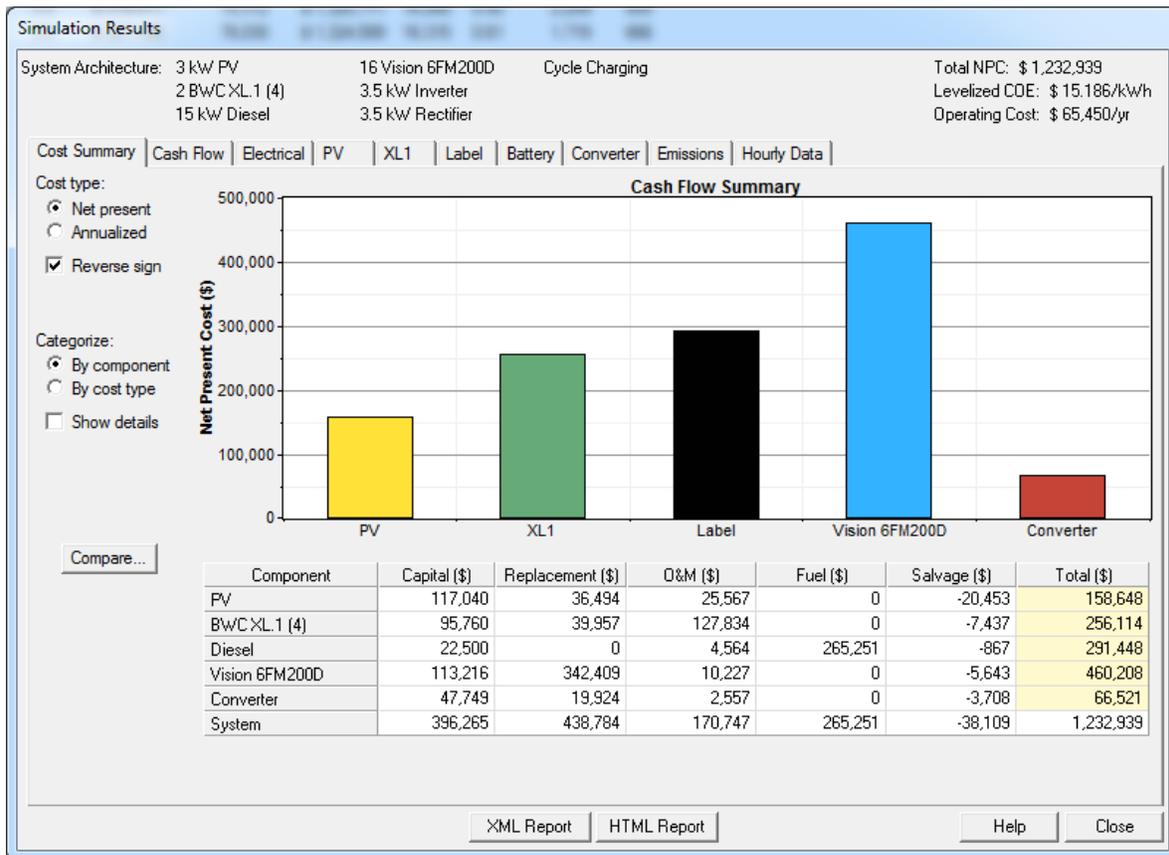
	Wind Speed (m/s)	Power Output (kW)
1	0.00	0.000
2	1.00	0.000
3	2.00	0.000
4	3.00	0.000
5	4.00	0.062
6	5.00	0.123
7	6.00	0.233
8	7.00	0.376
9	8.00	0.540
10	9.00	0.700
11	10.00	0.891
12	11.00	1.064
13	12.00	1.208
14	13.00	1.240
15	14.00	1.202
16	15.00	1.149

Power Output (kW) vs Wind Speed (m/s)

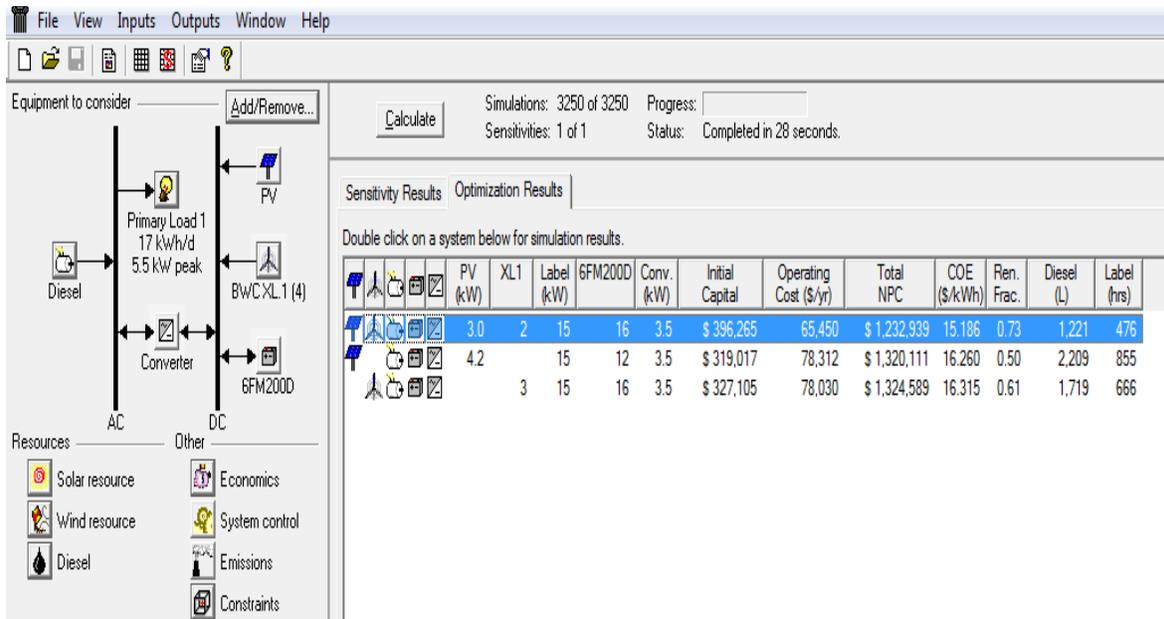
A estos aerogeneradores se le deben agregar 16 baterías (calculadas en planilla) de 12 V cada una y una capacidad de 230 Ah (coincidente con el modelo y especificaciones del armado del sistema solar fotovoltaico), formando 4 strings de 4 baterías, teniendo así, una tensión de trabajo de 48 V.

Conclusión Final

Luego de hacer la simulación correspondiente el **sistema combinado** desarrollado anteriormente con aprovechamiento de **energía solar fotovoltaica y energía eólica** (50% del proyecto se basa en energías renovables y el restante a través de la utilización de combustible diesel), los resultados fueron los siguientes:



Lo más redituable resulta 2 aerogeneradores BWCXL1 y 3 KW provistos por 20 paneles fotovoltaicos de 150 W de potencia cada uno, un banco de 16 baterías (800 Ah), es decir 4 strings de 4 baterías de 12 V y 200 Ah cada una, y un inversor de 3,5 KW.

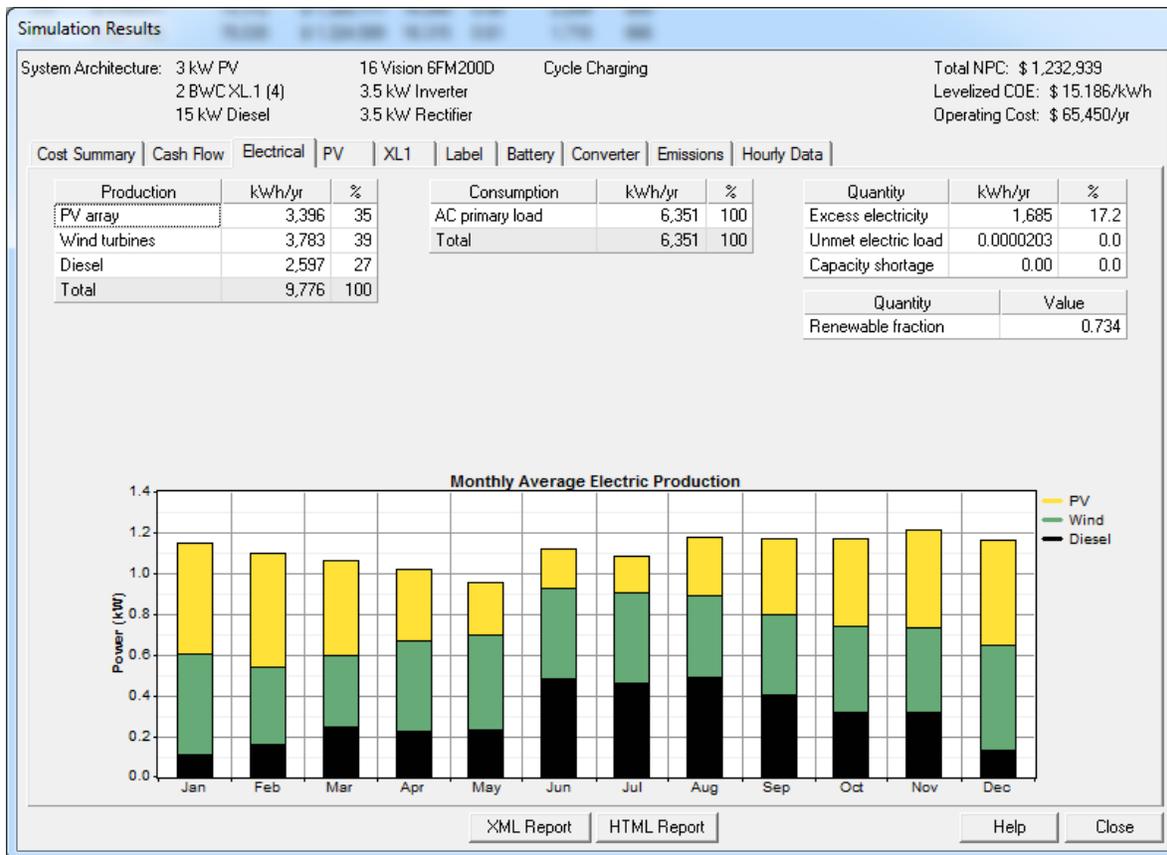


Además, el software nos da una idea acerca de los costos de llevar a cabo este proyecto, siendo los mismos:

- Capital inicial: \$396.265
- Costo de operación: \$65.450
- **Costo total: \$1.232.939**

Todo esto, con una fracción de energías renovables utilizada del 0,73, es decir un 73% y una cantidad de 1.221 L de combustible Diesel para completar el resto de energía necesaria para cubrir toda la demanda, es decir, 15KW adicionales.

En la siguiente pantalla, podemos observar de una forma gráfica a través de un diagrama de barras, el promedio de energía mensual producida por los **Paneles Fotovoltaicos (amarillo)**, **Energía eólica (verde)**, y **Diesel (negro)**. Observamos claramente una mayor necesidad de este último en los meses de invierno, donde hay menor radiación solar, y un aprovechamiento considerable de los paneles en los meses de primavera – verano (Noviembre a Febrero).

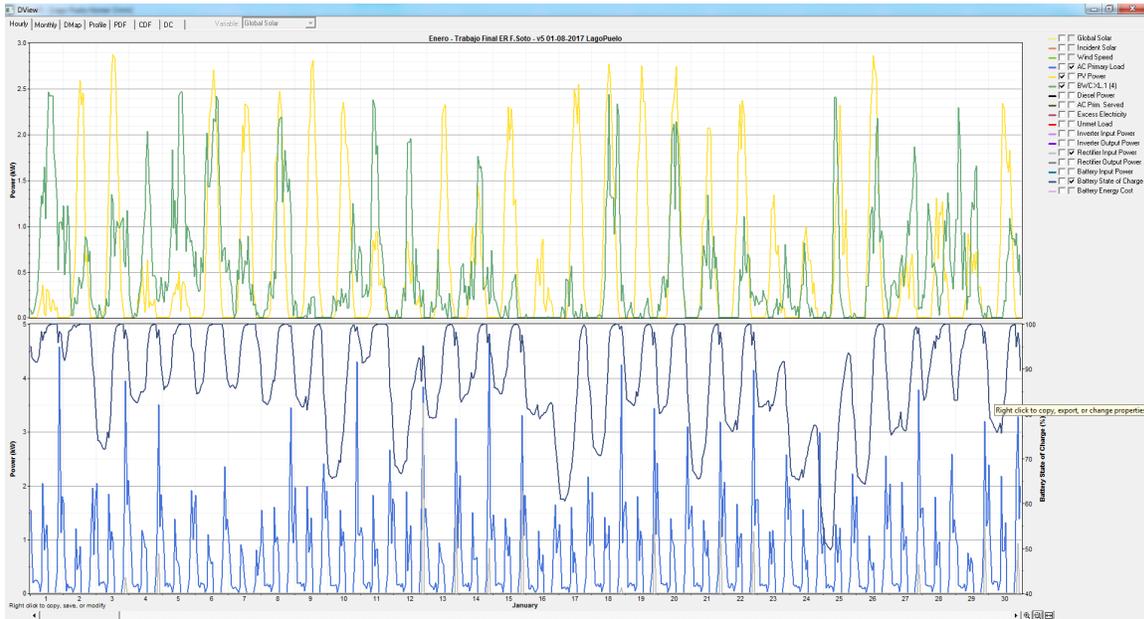


También podemos observar los porcentajes anuales cubiertos por cada tipo de energía:

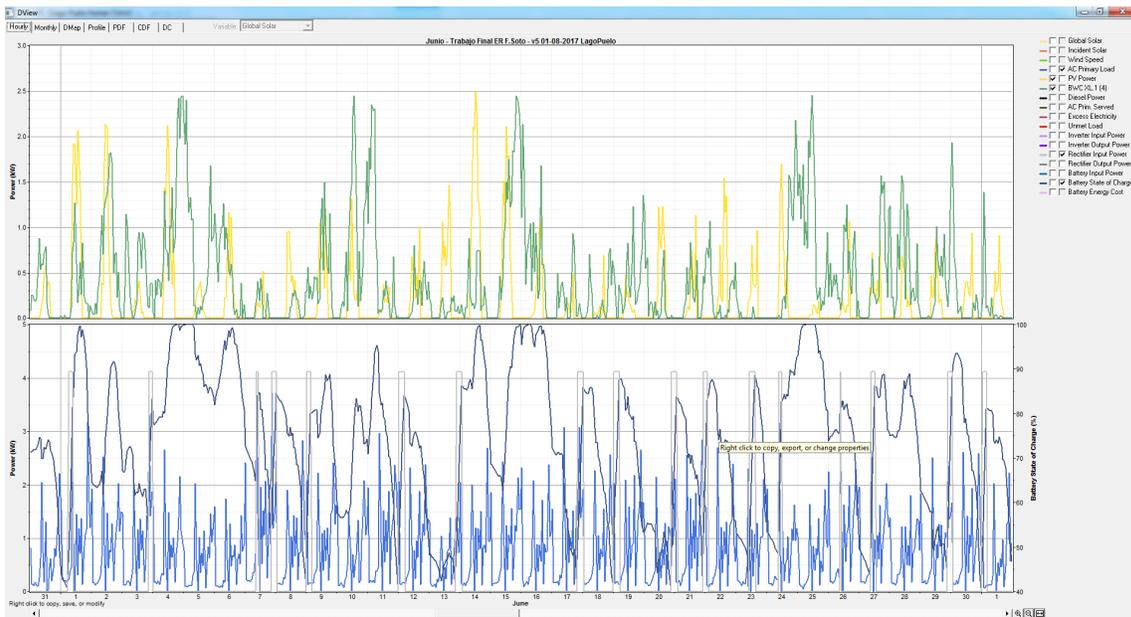
- **Energía fotovoltaica: 35%**
- **Turbinas eólicas: 39%**
- **Diesel: 27%**

En el siguiente gráfico podemos observar, en la parte superior, los picos de energía provisto por los Paneles y Aerogeneradores el estado de carga y descarga (la cual no es excesiva) de las baterías en la parte inferior (tomando como referencia los meses de Enero y Junio).

Enero (Verano)



Junio (Invierno)



Podemos concluir diciendo que se requerirá de una inversión considerable para los elementos necesarios a cubrir la demanda de 5 cabañas equipadas en la localidad de Lago Puelo, pero sin dudas, esto marcaría un primer paso hacia el mayor aprovechamiento de energías renovables en cuestiones domésticas, y un destino propicio para aquellas personas que tengan en consideración un desarrollo sustentable de estas energías y quieran experimentar un destino diferente al resto.