



PROVINCIA DE RIO NEGRO

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

ESTUDIO DE DEMANDA Y PROYECTO
DE MICRO-RED HIBRIDA DE
ABASTECIMIENTO ELÉCTRICO PARA
EL PARAJE CAÑADÓN CHILENO

INFORME FINAL

JUNIO 2019

1 ÍNDICE GENERAL

1	ÍNDICE GENERAL	1
2	ÍNDICE DE TABLAS	3
3	ÍNDICE DE FIGURAS	4
4	RESUMEN.....	6
5	SITUACIÓN ACTUAL DEL PARAJE CAÑADÓN CHILENO	8
5.1	Generalidades	8
5.2	Población.....	9
5.3	Servicios Públicos	9
5.3.1	Agua	9
5.3.2	Calefacción.....	10
5.3.3	Electricidad	10
5.3.4	Alumbrado público.....	17
6	ESTUDIO DE LA DEMANDA DEL PARAJE CAÑADÓN CHILENO.....	18
6.1	Medición de la demanda actual.....	18
6.2	Proyección de la demanda	19
7	ANÁLISIS DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS DISPONIBLES	22
7.1	Recurso Solar.....	22
7.2	Recurso Eólico	23
7.3	Distancia a redes eléctricas vinculadas al SADI.....	24
7.4	Combustible.....	24
8	DISEÑO DEL CENTRO DE GENERACIÓN HÍBRIDA.....	25
8.1	Aspectos generales de las micro-redes híbridas	25
8.1.1	Sistemas de generación híbridos	25
8.1.2	Electrificación rural aislada con micro-redes híbridas.....	25
8.2	Consideraciones económicas.....	27
8.3	Generación solar	27
8.4	Generación eólica.....	27
8.5	Grupo electrógeno.....	27
8.6	Banco de baterías	28
8.7	Inversor y gestor de micro-red.....	28
8.8	Esquema de interconexión	28
8.9	Estrategias de despacho de energía	29
8.9.1	Estrategia de seguimiento de carga.....	29
8.9.2	Estrategia de ciclo de carga	30

8.10	Resultados de la simulación de opción optima	31
8.10.1	Generación fotovoltaica existente	32
8.10.2	Generación fotovoltaica nueva	33
8.10.3	Generación eólica existente	34
8.10.4	Generación eólica nueva	35
8.10.5	Generación convencional	36
8.10.6	Inversor	37
8.10.7	Baterías	38
8.10.8	Obra civil	38
8.10.9	Sitio de implantación	41
8.10.10	Resumen de costos	41
8.10.11	Comparativa con el caso base	44
9	EXTENSIÓN DE LA RED EXISTENTE	47

2 ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Registro de potencia activa y aparente promediada cada 1 hora.	18
Tabla 2 - Modelo de demanda mensual para comunidades rurales HOMER con base mayo.....	20
Tabla 3 - Demanda proyectada por hora en cada mes del año [kW]	20
Tabla 4 – Radiación solar diaria e índice de claridad por mes.	22
Tabla 5 - Velocidad media del viento por mes en m/s.....	23
Tabla 6 - Características electricas y estadísticas de operación de la planta fotovoltaica	32
Tabla 7 - Características electricas y estadísticas de operación de la planta fotovoltaica	33
Tabla 8 - Características electricas y estadísticas de operación de la planta de energía eólica.....	34
Tabla 9 - Características electricas y estadísticas de operación de la planta de energía eólica.....	35
Tabla 10 - Características y estadísticas de operación del generador GLP	36
Tabla 11 - Características y estadísticas de operación del inversor.....	37
Tabla 12 - Características y estadísticas de operación del banco de baterías.	38
Tabla 13 - Costo actual neto	42
Tabla 14 - Costo anualizado.....	42
Tabla 15- Resultados económicos en comparación con caso base.....	45

3 ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Imagen satelital del paraje Cañadón Chileno. Fuente: Google Earth.	8
Figura 2 - Escuela Hogar N°72 - Patricia Fullone.....	9
Figura 3 – Sala de Generadores	11
Figura 4 - Generador trifásico 16 kVA	11
Figura 5 - Generador monofásico 15 kVA	11
Figura 6 - Placa del generador trifásico.....	12
Figura 7 - Placa del generador monofásico.....	12
Figura 8 – Almacenamiento de gas.....	12
Figura 9 - Paneles solares	13
Figura 10 - Aerogeneradores	13
Figura 11 - Reguladores de carga.....	14
Figura 12 - Inversores	14
Figura 13 - Banco de baterías.....	14
Figura 14 - Banco de baterías.....	14
Figura 15 - Banco de baterías.....	14
Figura 16 - Red de distribución	15
Figura 17 – Acometida a generadores.	16
Figura 18 - Acometida a usuario final.....	16
Figura 19 - Luminarias del sistema de alumbrado público	17
Figura 20 - Demanda proyectada por hora (mínima, promedio y máxima)	21
Figura 21 - Recurso Solar. Fuente: NASA Surface meteorology and solar energy database.....	22
Figura 22 - Velocidad media del viento en función del mes del año.....	23
Figura 23 - Ejemplo de micro-red hibrida	26
Figura 24 - Esquema de interconexión propuesto.....	29
Figura 25 - Generación solar de la planta existente en función del día del año y la hora [kW]	32
Figura 26 - Generación solar de la planta nueva en función del día del año y la hora [kW].....	33
Figura 27 - Generación eólica en función del día del año y la hora [kW]	34
Figura 28 - Generación eólica en función del día del año y la hora [kW]	35
Figura 29 - Generación convencional en función del día del año y la hora [kW]	36
Figura 30 - Potencia en el inversor en función del día del año y la hora [kW]..	37
Figura 31 - Potencia en el rectificador en función del día del año y la hora [kW]	37
Figura 32 - Estado de carga del banco de baterías según día del año y horario [%]	38

Figura 33 - Planta propuesta para el edificio	39
Figura 34 - Sitio de implantación	41
Figura 35 - Resumen de costos	43
Figura 36 - Flujo de caja nominal por tipo de costo	43
Figura 37 - Flujo de caja nominal por equipo asociado	44
Figura 38 - Flujos de caja nominales acumulados	45
Figura 39 - Flujos de caja descontados acumulados	46

4 RESUMEN

El consejo Federal de Inversiones de la República Argentina, a solicitud de la Secretaría de Energía de la Provincia de Rio Negro, encomienda a INVAP Ingeniería según contrato de obra Exp N° 16947-05-01, diseñar una micro-red híbrida de fuentes energéticas: solar, eólica e hidrocarburo, que satisfaga la demanda energética del Paraje Cañadón Chileno.

Cañadón Chileno es un paraje rural de la provincia de Rio Negro, Aislado del Sistema Argentino de Interconexión (SADI).

Actualmente existe un suministro de energía eléctrica, únicamente para la escuela, provisto desde dos grupos electrógenos a GLP que operan en modo intermitente durante solo 13 hs diarias

Debido al alto costo de operación y mantenimiento y la escasa calidad del servicio eléctrico vigente, se busca una alternativa que permita optimizar las horas de operación del grupo térmico incorporando fuentes de generación de base renovable, observando fundamentalmente:

- Que la operación de la usina sea continua (24 h/día).
- Que el valor actual neto del sistema sea el óptimo de las alternativas de combinación dimensional que se simulen, con un periodo de recupero simple de, a lo sumo, la tercera parte de la vida útil de los equipos en la comparación del uso del grupo generador térmico exclusivamente. Esto permite poner en valor económico el alto costo de la inversión inicial.

Se propone como alternativa generar una micro-red de generación híbrida solar-eólica-térmica, respaldada en baterías y gestionada por inversores bidireccionales que garanticen la calidad de energía en cuanto a estabilidad de tensión y frecuencia.

Para garantizar la factibilidad y diseñar el sistema propuesto, se realiza un relevamiento de campo que permite efectuar un diagnóstico de la situación actual la que se toma como base a efectos de proyectar la demanda. Los resultados de esta proyección arrojan un promedio anual de 100 KWh/día con un pico de potencia demandado de 7,58 kW.

Finalmente, se presenta una configuración optimizada de generación, combinando paneles solares fotovoltaicos y un grupo electrógeno con motorización a combustión interna de Gas Licuado de Petróleo (GLP), respaldado en un banco de baterías de plomo acido, gestionado por un inversor bidireccional.

La optimización de por resultado un sistema trifásico de corriente alterna (CA) alimentado por un generador a GLP de 16 kVA (12,8 kW) existente, y un inversor bidireccional de 8 kW de potencia nominal. En la barra de corriente

continua (CC) se conectan una generación fotovoltaica de 28,6 kW nominales (2,5 existentes y 26,1 nuevos), 12,1 kW eólicos (4,8 existentes y 7,3 nuevos) y un banco de baterías de plomo ácido compuesto por 4 cadenas, cada una con 8 baterías de 6 V, con una capacidad total de 1888 Ah en 48 Vcc.

El análisis del caso óptimo es comparado contra el caso base representado por el grupo existente, con motorización a combustión interna de GLP operando de continuo.

Los resultados para el caso óptimo, con una inversión inicial de u\$d 179.788, son:

- Consumo de GLP de 1.758 kg/año.
- Operación del grupo de 477 h/año.

Mientras que para el caso base se tiene:

- Consumo de GLP de 14.213 kg/año.
- Operación del grupo de 8.760 h/año.

Esto garantiza un periodo de recupero de 6,6 años en la curva de flujos de caja nominales acumulados, y de 8,5 años en la curva de flujos descontados acumulados, que tienen en cuenta el capital inicial, la operación y el mantenimiento y las reposiciones de equipos en un proyecto a 20 años.

Al realizar la comparación con la extensión de la red, se observa que esta podría ser sería una alternativa superadora, al representar inversión inicial similar a la requerida para la micro-red híbrida, y poseer menores costos de operación y mantenimiento. Sin embargo, esta alternativa debe ser validada con la empresa distribuidora.

5 SITUACIÓN ACTUAL DEL PARAJE CAÑADÓN CHILENO

5.1 Generalidades

Entre los días 23 y 25 de abril de 2019 se visitó la localidad de Cañadón Chileno, un paraje rural ubicado en el departamento Pilcaniyeu, de la provincia de Río Negro, ubicado en las coordenadas 40° 53' 19,84" S, 70° 01' 18,15" O.

Se accedió a la misma a través del camino de tierra que compone la ruta provincial N° 67, desde la ruta nacional N° 23 en la localidad de Comallo.

El casco urbano del paraje tiene un desarrollo de 600 m en la dirección N-S y 200 m en la dirección E-O.

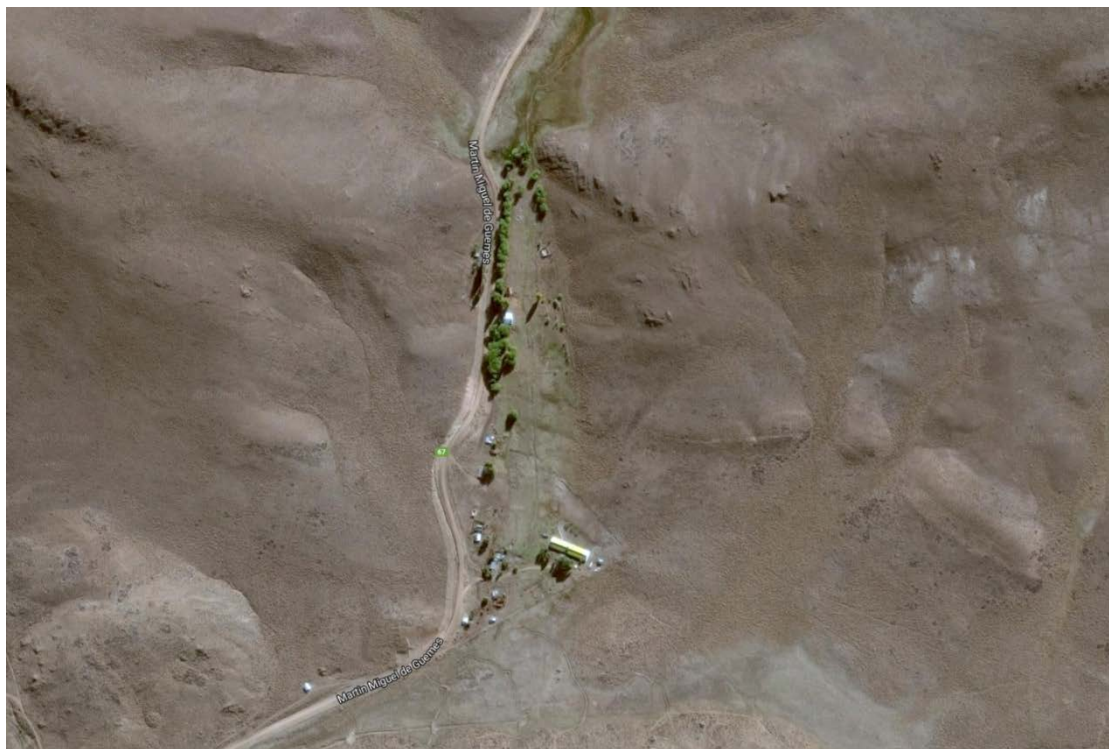


Figura 1 - Imagen satelital del paraje Cañadón Chileno. Fuente: Google Earth.

En el paraje, además de las viviendas de cinco familias, existen tres edificios públicos. El correspondiente a la Escuela Hogar N°72 “Patricia Fullone”, el destacamento policial, y una capilla.

Durante la visita se realizaron distintas entrevistas con pobladores y referentes sociales de la comunidad. De esas charlas se concluye que la mayoría de los habitantes son de escasos recursos económicos, siendo su principal actividad la ganadería ovina, en un régimen de subsistencia.

En cuanto al régimen habitacional, las viviendas están construidas en forma precaria, mayoritariamente poseen muros de ladrillos y techos de chapa.



Figura 2 - Escuela Hogar N°72 - Patricia Fullone

5.2 Población

En los últimos tres censos realizados por el Instituto Nacional De Estadística y Censos (INDEC) el paraje no figura desagregado de otras poblaciones, por lo cual no se cuenta con información oficial para estudiar la evolución de la población.

No obstante ello, de las entrevistas realizadas, surge que en el paraje viven cinco familias, además de las personas que habitan la Escuela Hogar N°72, y que la curva de población del paraje posee una tendencia decreciente.

5.3 Servicios Públicos

5.3.1 *Agua*

El abastecimiento de agua para consumo, higiene y riego se obtiene desde una vertiente, llegando a los puntos de utilización por gravedad.

5.3.2 Calefacción

Las viviendas del paraje, al no contar con gas ni electricidad, son calefaccionadas con leña. La escuela hogar posee instalaciones de gas envasado, y es calefaccionada mediante la utilización de este fluido.

5.3.3 Electricidad

5.3.3.1 Alcance del sistema de provisión de energía eléctrica

El paraje Cañadón Chileno posee un sistema de provisión de energía eléctrica que alimenta únicamente la Escuela Hogar N°72 y algunas luminarias del sistema de alumbrado público, no contando las viviendas del paraje con suministro de energía eléctrica.

5.3.3.2 Generación

5.3.3.2.1 Sistema actual de generación

El paraje Cañadón Chileno no posee conexión eléctrica con el SADI. El suministro eléctrico del mismo es generado por un conjunto de dos grupos electrógenos a GLP, uno trifásico de 16 kVA, en servicio al momento del relevamiento y uno monofásico de 15 kVA, fuera de servicio al momento del relevamiento.

El sistema de generación, por economía de combustible, opera solamente durante 13 hs por día. Esto es de 7:00 hs a 15:00 hs, y de 19:00 hs a 0:00 hs.



Figura 3 – Sala de Generadores

En la fotografía de la figura 3 se observa el interior de la sala de generadores.. Las fotografías de las figuras 4 a 7 corresponden a ambos generadores eléctricos. Las de la izquierda corresponden al generador trifásico, en servicio durante el relevamiento, y las de la derecha al monofásico, fuera de servicio al momento de la del mantenimiento.



Figura 4 - Generador trifásico 16 kVA



Figura 5 - Generador monofásico 15 kVA



Figura 6 - Placa del generador trifásico



Figura 7 - Placa del generador monofásico



Figura 8 – Almacenamiento de gas.

5.3.3.2.2 Sistema de generación fuera de servicio

Adicionalmente al sistema descrito en el punto 5.3.3.2.1, existe un sistema de generación híbrido, solar-eólico, para suministro de energía eléctrica a la Escuela – Hogar N° 72.



Figura 9 - Paneles solares

El mismo se encuentra fuera de servicio por presentar severos daños en su sistema de almacenamiento.



Figura 10 - Aerogeneradores

El sistema cuenta con un conjunto de 38 paneles solares de 65 Wp marca: Total Enegie - modelo: TE500CR+ (ver figura 9), 2 aerogeneradores de 48 Vcc marca: Giafa (ver figura 10), 3 reguladores de carga de baterías marca: Xantrex - modelo: C35 (ver figura 11), y dos inversores marca: Xantrex de 1 kW (ver figura 12) y un banco de baterías (ver figura 13 y figura 14).



Figura 11 - Reguladores de carga



Figura 12 - Inversores



Figura 13 - Banco de baterías



Figura 14 - Banco de baterías

Este sistema se encuentra fuera de servicio porque su banco de baterías, para el almacenamiento de energía, presenta errores de instalación y falta de mantenimiento esta situación se evidencia en la figura 15.



Figura 15 - Banco de baterías

El banco de baterías, para tener una vida útil medianamente prolongada, debería estar montado en un ambiente climatizado y contar con mantenimiento periódico.

5.3.3.3 Distribución

El sistema de distribución del paraje solo conecta los generadores con la escuela y el equipamiento de alumbrado público. No se encuentra desarrollado el sistema de distribución a lo largo del paraje. La parte existente está compuesta por postes de madera y conductores preensamblados, como puede observarse en la figura 16.



Figura 16 - Red de distribución

La acometida al predio de generadores posee un seccionador fusible, como se puede observar en la figura 17.



Figura 17 – Acometida a generadores.

La única acometida a un usuario final existente posee un pilar premoldeado de hormigón. Y está equipada con interruptor termomagnético y diferencial. La misma se aprecia en la figura 18



Figura 18 - Acometida a usuario final

5.3.4 Alumbrado público

El paraje cuenta con un servicio de alumbrado público. El mismo fue renovado recientemente, remplazando sus luminarias por equipos LED de gran eficiencia.

El sistema cuenta con 9 equipos de 120 W cada uno. Los mismos se observan en la figura 19.



Figura 19 - Luminarias del sistema de alumbrado público

6 ESTUDIO DE LA DEMANDA DEL PARAJE CAÑADÓN CHILENO

6.1 Medición de la demanda actual

Se realizó una recolección de datos cuantitativos de consumo durante 48 hs seguidas mediante un registrador digital trifásico marca: Fluke, modelo: 438 Serie II. Para ello se dio aviso a la comunidad del paraje de que durante el periodo de medición se contaría con energía eléctrica las 24 hs. La medición se realizó en la línea de salida del generador, permitiendo cuantificar la demanda global del sistema

El registrador se puso en funcionamiento a las 09:50 hs del día 23 de abril de 2019, hasta las 10:15 hs del día 25 de abril, registrando datos cada 10 S. La tabla 1 presenta, a modo de resumen, los valores medios de potencia activa y potencia aparente, en intervalos de 1 hora.

Tabla 1 - Registro de potencia activa y aparente promediada cada 1 hora.

Fecha	hora	Potencia Activa [kW]	Potencia Aparente [KVA]
23/04/2019	11 a 12	2,305	2,561
23/04/2019	12 a 13	2,321	2,579
23/04/2019	13 a 14	2,381	2,645
23/04/2019	14 a 15	2,198	2,442
23/04/2019	15 a 16	2,279	2,533
23/04/2019	16 a 17	2,328	2,587
23/04/2019	17 a 18	2,352	2,613
23/04/2019	18 a 19	2,340	2,600
23/04/2019	19 a 20	3,133	3,481
23/04/2019	20 a 21	3,284	3,649
23/04/2019	21 a 22	3,237	3,596
23/04/2019	22 a 23	3,200	3,555
23/04/2019	23 a 00	3,201	3,557
24/04/2019	0 a 1	3,100	3,444
24/04/2019	1 a 2	2,902	3,225
24/04/2019	2 a 3	2,872	3,191
24/04/2019	3 a 4	2,814	3,126
24/04/2019	4 a 5	2,796	3,107
24/04/2019	5 a 6	2,804	3,115
24/04/2019	6 a 7	2,815	3,128
24/04/2019	7 a 8	2,800	3,111

Fecha	hora	Potencia Activa [kW]	Potencia Aparente [KVA]
24/04/2019	8 a 9	2,460	2,733
24/04/2019	9 a 10	2,369	2,632
24/04/2019	10 a 11	2,485	2,761
24/04/2019	11 a 12	2,271	2,524
24/04/2019	12 a 13	2,340	2,600
24/04/2019	13 a 14	2,443	2,715
24/04/2019	14 a 15	2,289	2,543
24/04/2019	15 a 16	2,296	2,551
24/04/2019	16 a 17	2,189	2,432
24/04/2019	17 a 18	2,293	2,548
24/04/2019	18 a 19	2,373	2,636
24/04/2019	19 a 20	3,580	3,978
24/04/2019	20 a 21	3,694	4,104
24/04/2019	21 a 22	3,669	4,077
24/04/2019	22 a 23	3,603	4,003
24/04/2019	23 a 00	3,614	4,015
25/04/2019	0 a 1	3,592	3,991
25/04/2019	1 a 2	3,489	3,877
25/04/2019	2 a 3	3,459	3,844
25/04/2019	3 a 4	3,437	3,819
25/04/2019	4 a 5	3,427	3,808
25/04/2019	5 a 6	3,428	3,809
25/04/2019	6 a 7	3,415	3,794
25/04/2019	7 a 8	3,436	3,818
25/04/2019	8 a 9	2,848	3,164
25/04/2019	9 a 10	2,216	2,462

6.2 Proyección de la demanda

Para la proyección de la demanda se tuvo en cuenta que el consumo registrado contempla únicamente la escuela y el alumbrado público.

Se proyectó la demanda adicionando, al consumo medido, la demanda de cinco hogares, tomando como base la demanda por hogar de poblaciones similares.

La variación estacional de la demanda, será estimada siguiendo el modelo propuesto por HOMER Pro para comunidades rurales. Este, tomando

como mes de base mayo, presenta para las demandadas de cada mes las proporciones detalladas en la tabla 2.

Tabla 2 - Modelo de demanda mensual para comunidades rurales HOMER con base mayo.

Mes	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Factor	0,722	0,752	0,813	0,903	1	1,061	1,091	1,061	1	0,903	0,813	0,752

Durante los 20 años de vida útil del proyecto se contempla, además, un potencial incremento de la demanda del 10% sobre la demanda estimada actual.

Por tales motivos consideraremos la demanda por hora en cada mes del año que se detalla en la tabla 3. En la figura 20 se grafican los valores mínimo, medio y máximo, proyectados para cada hora del día.

Tabla 3 - Demanda proyectada por hora en cada mes del año [kW]

Hora/Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
00 a 01	2,83	2,94	3,18	3,54	3,91	4,15	4,27	4,15	3,91	3,54	3,18	2,94
01 a 02	2,71	2,83	3,06	3,40	3,76	3,99	4,10	3,99	3,76	3,40	3,06	2,83
02 a 03	2,83	2,95	3,19	3,54	3,92	4,16	4,28	4,16	3,92	3,54	3,19	2,95
03 a 04	2,63	2,74	2,96	3,29	3,64	3,86	3,97	3,86	3,64	3,29	2,96	2,74
04 a 05	2,67	2,78	3,01	3,34	3,70	3,92	4,03	3,92	3,70	3,34	3,01	2,78
05 a 06	2,64	2,75	2,97	3,30	3,66	3,88	3,99	3,88	3,66	3,30	2,97	2,75
06 a 07	2,71	2,83	3,05	3,39	3,76	3,99	4,10	3,99	3,76	3,39	3,05	2,83
07 a 08	2,96	3,09	3,34	3,71	4,11	4,36	4,48	4,36	4,11	3,71	3,34	3,09
08 a 09	4,18	4,35	4,71	5,23	5,79	6,14	6,31	6,14	5,79	5,23	4,71	4,35
09 a 10	4,48	4,67	5,04	5,60	6,20	6,58	6,77	6,58	6,20	5,60	5,04	4,67
10 a 11	4,21	4,39	4,74	5,27	5,83	6,19	6,37	6,19	5,83	5,27	4,74	4,39
11 a 12	4,04	4,21	4,55	5,05	5,60	5,94	6,11	5,94	5,60	5,05	4,55	4,21
12 a 13	4,06	4,23	4,58	5,08	5,63	5,97	6,14	5,97	5,63	5,08	4,58	4,23
13 a 14	3,75	3,90	4,22	4,69	5,19	5,51	5,66	5,51	5,19	4,69	4,22	3,90
14 a 15	3,44	3,58	3,87	4,30	4,76	5,05	5,19	5,05	4,76	4,30	3,87	3,58
15 a 16	3,37	3,51	3,79	4,21	4,67	4,95	5,09	4,95	4,67	4,21	3,79	3,51
16 a 17	3,32	3,46	3,74	4,15	4,60	4,88	5,02	4,88	4,60	4,15	3,74	3,46
17 a 18	3,32	3,45	3,73	4,15	4,59	4,87	5,01	4,87	4,59	4,15	3,73	3,45
18 a 19	3,31	3,45	3,73	4,14	4,58	4,86	5,00	4,86	4,58	4,14	3,73	3,45
19 a 20	3,29	3,43	3,71	4,12	4,56	4,84	4,98	4,84	4,56	4,12	3,71	3,43
20 a 21	3,35	3,49	3,78	4,19	4,65	4,93	5,07	4,93	4,65	4,19	3,78	3,49
21 a 22	2,75	2,86	3,09	3,43	3,80	4,04	4,15	4,04	3,80	3,43	3,09	2,86

22 a 23	2,79	2,90	3,14	3,48	3,86	4,09	4,21	4,09	3,86	3,48	3,14	2,90
23 a 00	3,09	3,22	3,48	3,87	4,29	4,55	4,68	4,55	4,29	3,87	3,48	3,22

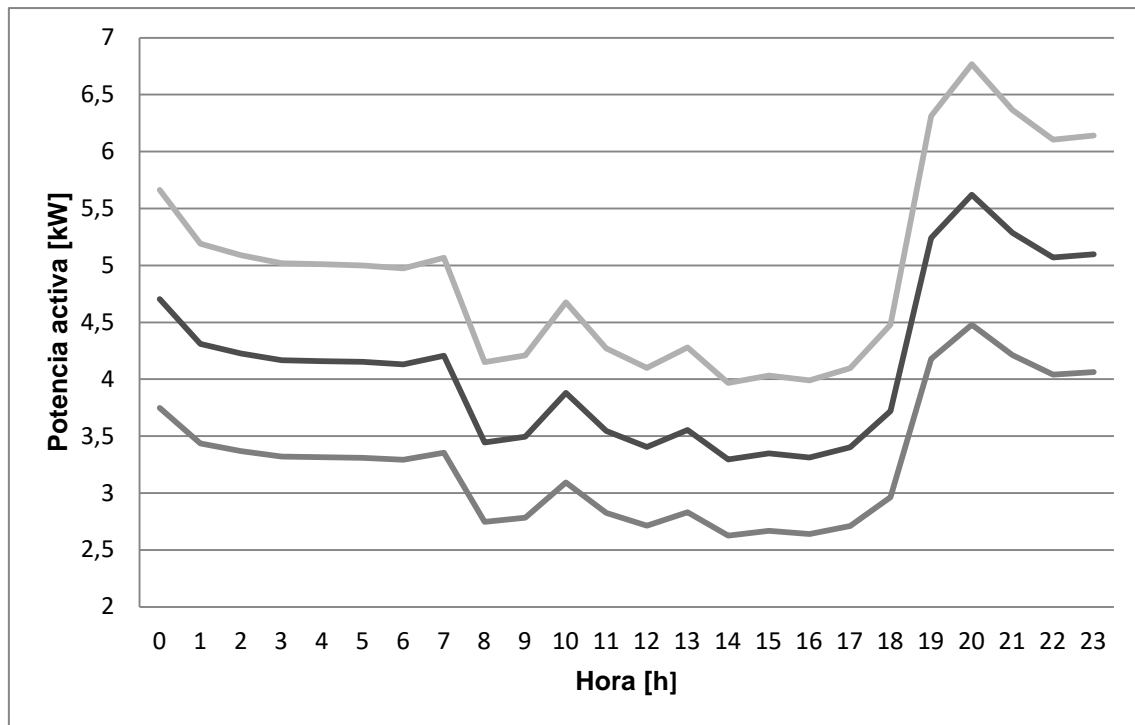


Figura 20 - Demanda proyectada por hora (mínima, promedio y máxima)

7 ANÁLISIS DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS DISPONIBLES

7.1 Recurso Solar

La National Aeronautics and Space Agency (NASA) de Estados Unidos posee una base de datos que recopila, entre otros, los valores globales de radiación solar horizontal en el periodo julio 1983 – junio 2005. De acuerdo con la misma, el recurso solar disponible en el paraje Cañadón Chileno es el detallado en la tabla 4. El mismo se grafica en la figura 21.

Tabla 4 – Radiación solar diaria e índice de claridad por mes.

Mes	Índice de claridad	Radiación diaria [kWh/m ² /día]
Enero	0,638	7,63
Febrero	0,636	6,71
Marzo	0,56	4,71
Abril	0,524	3,17
Mayo	0,474	2,01
Junio	0,412	1,42
Julio	0,454	1,72
Agosto	0,47	2,47
Septiembre	0,498	3,71
Octubre	0,548	5,36
Noviembre	0,583	6,74
Diciembre	0,597	7,37

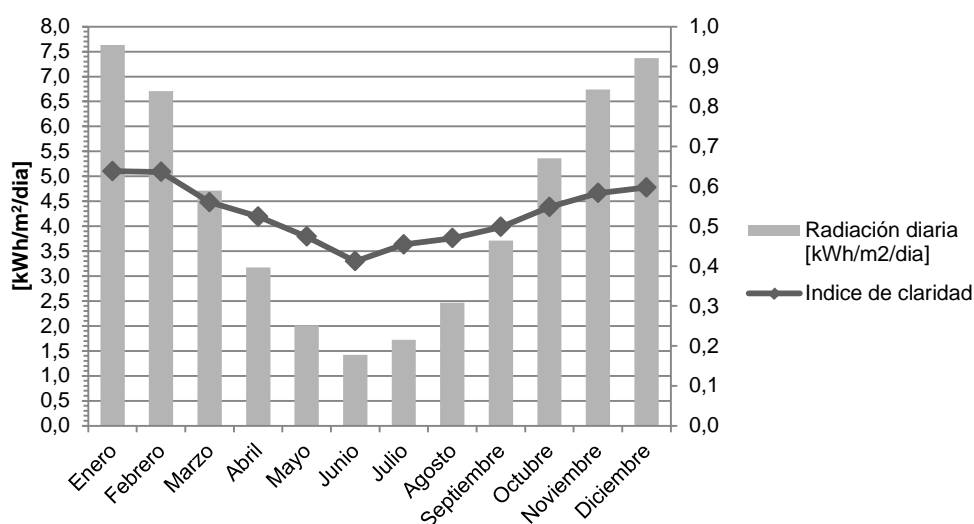


Figura 21 - Recurso Solar. Fuente: NASA Surface meteorology and solar energy database

7.2 Recurso Eólico

Las velocidades medias de los vientos, de acuerdo a la base de datos de la NASA se detallan en la tabla 5 para cada mes del año. Los datos de la tabla se presentan en el gráfico de la figura 22. Los valores presentados consideran una altura de anemómetro de 50 m.

Tabla 5 - Velocidad media del viento por mes en m/s

Mes	Velocidad Media [m/s]
Enero	5,99
Febrero	5,68
Marzo	5,62
Abril	5,70
Mayo	6,07
Junio	5,91
Julio	5,89
Agosto	5,73
Septiembre	5,68
Octubre	5,86
Noviembre	5,73
Diciembre	6,19

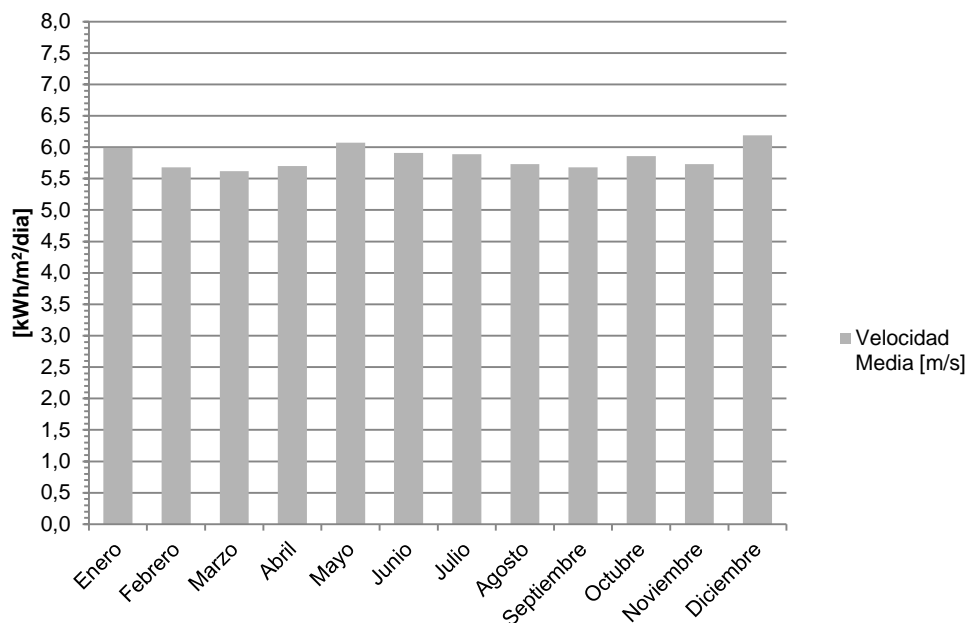


Figura 22 - Velocidad media del viento en función del mes del año

7.3 Distancia a redes eléctricas vinculadas al SADI

Durante el relevamiento se observó que la distancia aproximada del paraje Cañadón Chileno a la línea de media tensión más cercana es de aproximadamente 15 km. La línea corre en forma paralela a la RP 67, desde la localidad de Comallo.

7.4 Combustible

Dado que la provincia de Rio Negro posee un contrato con YPF Gas para la provisión de GLP, este será el recurso energético a considerar a la hora de alimentar la generación eléctrica convencional.

8 DISEÑO DEL CENTRO DE GENERACIÓN HÍBRIDA

8.1 Aspectos generales de las micro-redes híbridas

8.1.1 *Sistemas de generación híbridos*

Las instalaciones híbridas constituyen un sistema de generación que permite optimizar en gran medida la producción de electricidad a partir de energías renovables, como la fotovoltaica y la eólica, combinándolas con las no renovables como el uso de grupos electrógenos diesel. La tecnología actual permite el respaldo en sistemas de almacenaje (baterías), de acondicionamiento de la potencia (inversores, rectificadores, reguladores de carga) y de regulación y control mediante inversores bidireccionales que interactúan en el sistema como gestores de energía.

El objetivo de combinar las fuentes de generación es minimizar a la vez los costes y las emisiones contaminantes que genera la producción de energía en sistemas convencionales aislados de la red eléctrica, además de reducir la energía no suministrada (demandada por los usuarios pero que no puede ser abastecida).

Actualmente se proyectan sistemas híbridos en los que las fuentes renovables y el almacenamiento proporcionan hasta el 80-90% de las necesidades energéticas, dejando al diesel solo una función auxiliar.

La configuración típica de un sistema híbrido es la siguiente:

- Una o más unidades de generación de fuentes renovables.
- Una o más unidades de generación convencional.
- Sistema de almacenamiento.
- Sistemas de acondicionamiento de la potencia.
- Sistema de regulación y control.

8.1.2 *Electrificación rural aislada con micro-redes híbridas*

Normalmente ante los altos costos de operación y mantenimiento de las usinas eléctricas basadas en motores de combustión interna, la mayoría de los procesos de electrificación rural siguen el modelo de extensión de red, sin embargo esta solución muchas veces no resulta económicamente viable, ya sea por distancias o por la imposibilidad técnica de ofrecer un servicio confiable.

La tecnología renovable basada en sistemas aislados o micro-redes representa una importante revolución tecnológica para aquellas zonas rurales sin acceso a la red eléctrica.

Así pues, la electrificación rural sin conexión a red es un campo extenso y difuso, en el que conviven diferentes tecnologías, recursos energéticos, aplicaciones y condiciones locales. En muchos casos se dan circunstancias que pueden dar una idea de las dificultades que aparecen al trabajar en este entorno: población dispersa, baja demanda eléctrica, ingresos económicos medios bajos y comunicaciones deficientes.

Estos sistemas, que benefician principalmente a los consumidores y al medio ambiente, favorecen la independencia de la red eléctrica y aprovechan de forma más eficaz las energías renovables y los sistemas de almacenamiento.

En resumen, la operación de las unidades de generación eléctrica, almacenamiento y carga como micro-red busca alcanzar los siguientes objetivos:

- Mejorar la eficiencia energética, esto se logra gracias a una planificación y operación adecuada de las unidades de generación y almacenamiento.
- Reducción de emisión de gases de efecto invernadero.
- Incremento del uso de las energías renovables y recursos locales.
- Reducción de los costes de energía.
- Mejora de la Calidad de Suministro.
- Minimización de pérdidas eléctricas, dado que las unidades de generación dispersas operan cerca de las cargas.

La figura 23 presenta un ejemplo de micro-red híbrida aislada.

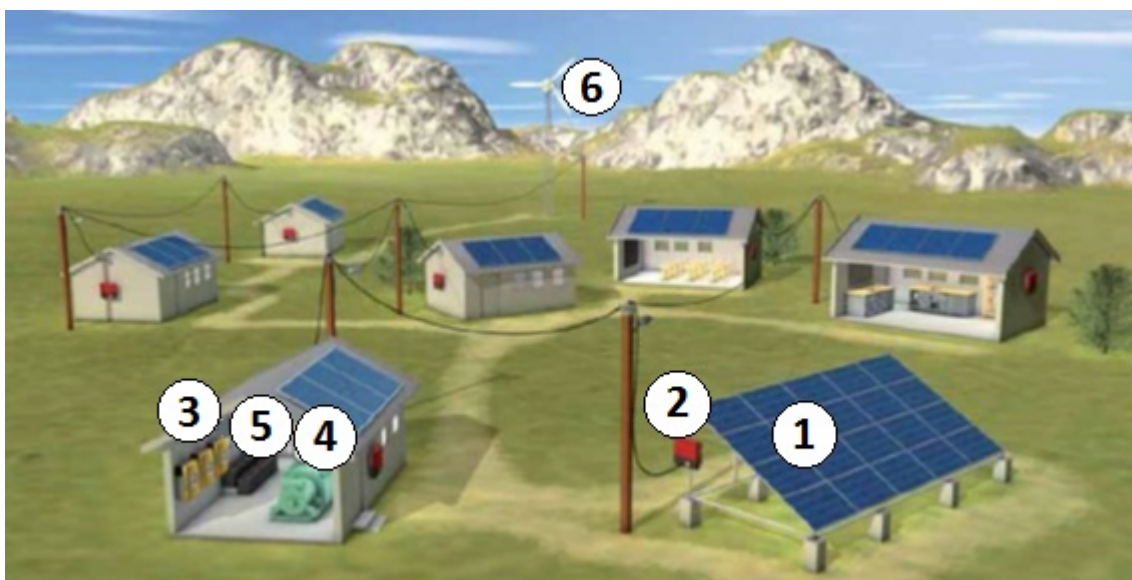


Figura 23 - Ejemplo de micro-red híbrida

- | | |
|----------------------------------|---------------------|
| 1. Módulos solares fotovoltaicos | 2. Inversor solar |
| 3. Equipamiento de control | 4. Generador diesel |

5. Baterías

6. Generador eólico

8.2 Consideraciones económicas

El análisis del proyecto fue realizado en dólares estadounidenses.

Se consideró una inflación anual del 2 % y una tasa del 8 % en dólares.

Todos los precios están nacionalizados y no incluyen IVA.

Se consideró una vida útil para el proyecto de 20 años.

8.3 Generación solar

El diseño considera el aprovechamiento del recurso solar detallado en el punto 7.1, mediante la utilización de los equipos detallados en el punto 5.3.3.2.2 y la instalación de una planta fotovoltaica de paneles solares multicristalinos, ubicados a nivel de suelo. Cada uno de los paneles adicionales utilizados en la simulación posee las características que se detallan a continuación:

- Potencia Nominal (P_{max}): 330 W
- Tensión a circuito abierto (V_{OC}): 42,4 Vcc
- Dimensiones aproximadas (largo x ancho): 2 m x 1 m
- Vida útil: 80% de potencia a 25 años.

8.4 Generación eólica

El diseño considera el aprovechamiento del recurso eólico detallado en el punto 7.2, mediante la utilización del equipamiento detallado en el punto 5.3.3.2.2 y la instalación de generadores eólicos de las siguientes características:

- Potencia Nominal: 2,4 kW
- Velocidad de viento nominal: 12,5 m/s
- Tipo de hélice: tripala
- Tensión de salida: 48 Vcc.

8.5 Grupo electrógeno

El diseño considera la reutilización del grupo electrógeno trifásico existente. Se buscará mediante el sistema de control, cargando baterías, que el equipo no trabaje en ningún caso por debajo del 30 % de su potencia nominal.

El grupo existente es capaz de suministrar el 100 % de la demanda proyectada de ser requerido, y está en aparente buen estado de funcionamiento. Por tal motivo se considera la reutilización de este

componente, considerando el agregado del equipamiento necesario para que opere en forma automática.

8.6 Banco de baterías

El diseño contempla la utilización de baterías abiertas de plomo-acido de ciclo profundo, para aplicación solar-industrial, conformando un banco de 48 Vcc.

Este tipo de baterías tiene una expectativa de vida del orden de los 15 años, si son utilizadas con un ciclado adecuado, y se lleva a cabo un correcto mantenimiento de las mismas.

El modelo de referencia utilizado en el diseño es la Trojan SIND .06 1225.

8.7 Inversor y gestor de micro-red

Existen en el mercado distintas marcas de equipos que controlan y administran el uso de la energía en sistemas de micro redes. En este trabajo se realizan las simulaciones con equipos de las siguientes características:

- Tensión nominal del bus DC: 48 V
- Tensión nominal del bus AC: 230/400 V
- Tipo de inversor: bidireccional para aceptar generación distribuida
- Rendimiento inversor y cargador: hasta 95%

Sólo serán utilizados en el proyecto modelos de inversores tipo string inverters por el tamaño de proyecto, modularidad y facilidad de mantenimiento. En cuanto a la cantidad de entradas MPPT se requieren al menos 2 entradas por contar el sistema con 2 conjuntos diferentes de paneles.

A los propósitos de control, el modelo de inversor elegido tendrá que controlar su potencia de salida por lectura de frecuencia de red (FSPC - freq shift power control) ya que esta es la forma más simple de evitar sobrecarga de baterías en un sistema aislado.

No será considerado el aprovechamiento de los inversores existentes debido a que no cumplen con los requerimientos para operar en paralelo con el grupo térmico.

8.8 Esquema de interconexión

Se propone un sistema combinado de energía solar, eólica y GLP respaldado en un banco de baterías. El esquema contempla 2 barras principales, una de corriente alterna (CA) y una de corriente continua (CC), vinculadas entre sí mediante un inversor bidireccional.

El generador GLP y la salida de carga se vinculan a la barra de CA, mientras que la generación solar, la generación eólica y el banco de baterías son vinculados en la barra de CC. Esto se detalla en la figura 24.

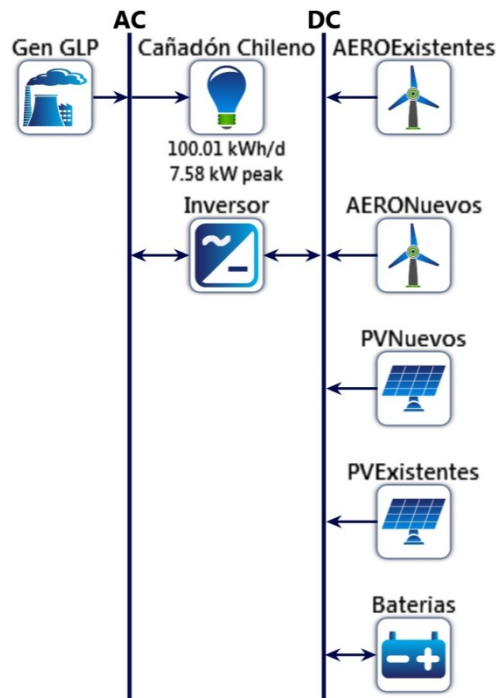


Figura 24 - Esquema de interconexión propuesto

8.9 Estrategias de despacho de energía

Una estrategia de despacho de energía es un conjunto de reglas que rigen el funcionamiento del generador y del banco de baterías. La estrategia de despacho de energía considerada en este trabajo es una combinación de las estrategias ciclo de carga y seguimiento de carga que se detallan en los puntos 8.9.1 y 8.9.2. El software calcula con ambas estrategias y aplica la más conveniente para cada periodo de tiempo.

8.9.1 Estrategia de seguimiento de carga

En la estrategia de seguimiento de carga el generador produce sólo suficiente energía para satisfacer la demanda en el momento que éste sea necesario. El seguimiento de carga suele ser óptimo en sistemas con mucha potencia renovable, cuando la salida de energía renovable a veces es superior a la carga.

La estrategia de seguimiento de carga, es una estrategia de despacho de energía en la que cada vez que el generador opera, produce solamente la potencia suficiente para abastecer la carga primaria conectada. Los objetivos

de menor prioridad, como cargar el banco de baterías o se dejan para las fuentes de energías renovables.

Bajo la estrategia de seguimiento de carga, el gestor de energía despacha las fuentes de potencia controlables del sistema (generador y banco de baterías), de manera de alimentar la carga primaria al menor costo total en cada intervalo de simulación, cumpliendo con el requerimiento de reserva operativa. El costo total incluye los costos de combustible, de operación y mantenimiento, y de reemplazo.

Para lograr esto, en la simulación HOMER calcula el costo fijo y el marginal de cada fuente de potencia despachable:

- El costo fijo de un generador, es igual a su costo horario de operación y de mantenimiento más el costo horario de reemplazo, más el costo de su consumo de combustible sin carga. Su costo marginal es igual a la pendiente de su curva de consumo de combustible multiplicada por el precio del combustible.
- El costo fijo del banco de batería es igual a cero y su costo marginal es igual al costo de desgaste de la batería.

Una vez que caracteriza cada una de las fuentes despachables de este modo, HOMER busca una combinación de fuentes de generación que satisfaga la carga primaria, la reserva operativa requerida y la carga térmica al mínimo costo

8.9.2 Estrategia de ciclo de carga

La estrategia de ciclo de carga, es una estrategia de despacho de energía por medio de la cual cuando un generador debe operar para abastecer la carga primaria, éste opera a máxima potencia. La producción excedente de electricidad, se dirige a objetivos de menor prioridad como cargar el banco de baterías.

En la simulación, cuando se emplea la estrategia de ciclo de carga, HOMER despacha las fuentes de energía controlables (generador y banco de baterías) en cada intervalo de tiempo de simulación, mediante un proceso de dos pasos. Primero, HOMER selecciona la combinación óptima de fuentes de energía para servir la carga primaria, de acuerdo con la estrategia de seguimiento de carga. Luego, HOMER aumenta la producción de cada generador en esa combinación óptima hasta su capacidad nominal (o lo más cerca posible) sin generar en exceso.

8.10 Resultados de la simulación de opción optima

La simulación realizada en HOMER da como resultado la siguiente configuración optima:

8.10.1 Generación fotovoltaica existente

La tabla 6 detalla las estadísticas de operación, previstas para la planta fotovoltaica existente, de acuerdo con la simulación óptima en HOMER.

Tabla 6 - Características eléctricas y estadísticas de operación de la planta fotovoltaica

Característica	Valor
Salida mínima	0 kW
Salida máxima	2,47 kW
Capacidad nominal	2.47 kW
Potencia de salida promedio	0,404 kW
Energía de salida promedio diaria	9,69 kWh/d
Horas de operación	4381 h/año
Factor de capacidad	16,4 %
Producción total	3.538 kWh/d

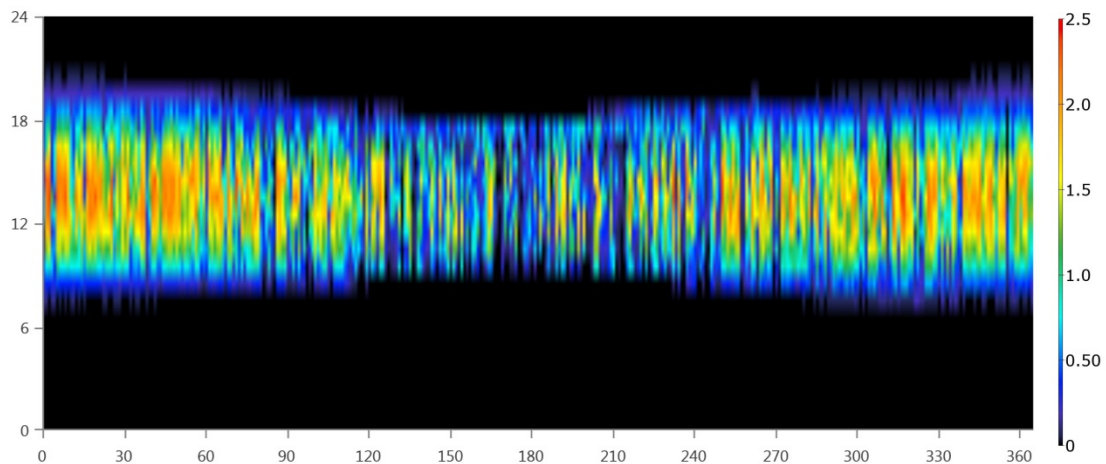


Figura 25 - Generación solar de la planta existente en función del día del año y la hora [kW]

8.10.2 Generación fotovoltaica nueva

La tabla 7 detalla las características del sistema de generación fotovoltaica nuevo que surge como resultado de la simulación óptima en HOMER. Esta resulta de la instalación de la instalación de 79 paneles de las características detalladas en el punto 8.3.

Tabla 7 - Características eléctricas y estadísticas de operación de la planta fotovoltaica

Característica	Valor
Salida mínima	0 kW
Salida máxima	24,9 kW
Capacidad nominal	26,1 kW
Potencia de salida promedio	4,16 kW
Energía de salida promedio diaria	99,9 kWh/d
Horas de operación	4381 h/año
Factor de capacidad	16,0 %
Producción total	36.474 kWh/d
Costo normalizado	0,0534 u\$/kWh

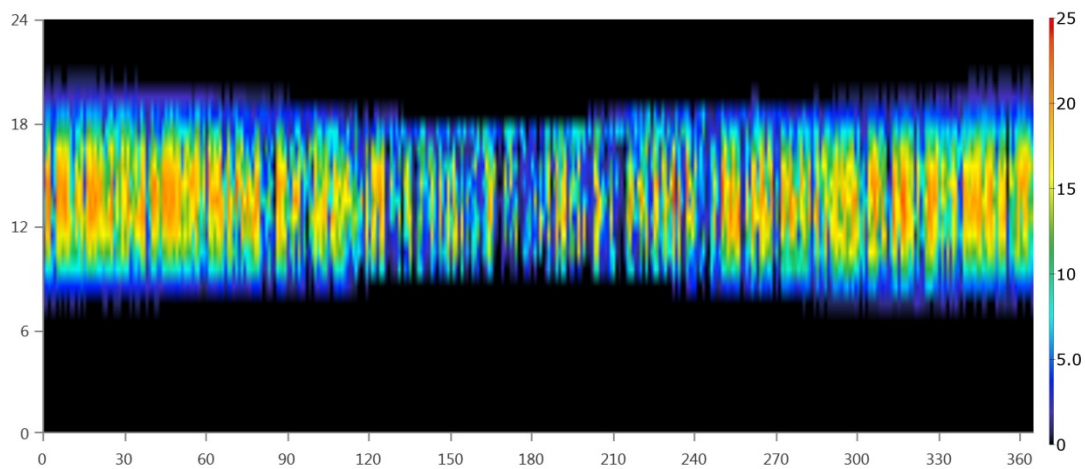


Figura 26 - Generación solar de la planta nueva en función del día del año y la hora [kW]

8.10.3 Generación eólica existente

La tabla 8 detalla las estadísticas de operación del sistema de generación eólica existente, que surgen como resultado de la simulación óptima en HOMER. El gráfico de la figura 27 presenta la generación estimada en función del día del año y la hora.

Tabla 8 - Características eléctricas y estadísticas de operación de la planta de energía eólica

Característica	Valor
Salida mínima	0 kW
Salida máxima	4,62 kW
Capacidad nominal	4,80 kW
Potencia de salida promedio	0,889 kW
Factor de capacidad	18,3 %
Horas de operación	6.843 h/año
Penetración eólica	21,3 %
Producción total	7.785 kWh/d

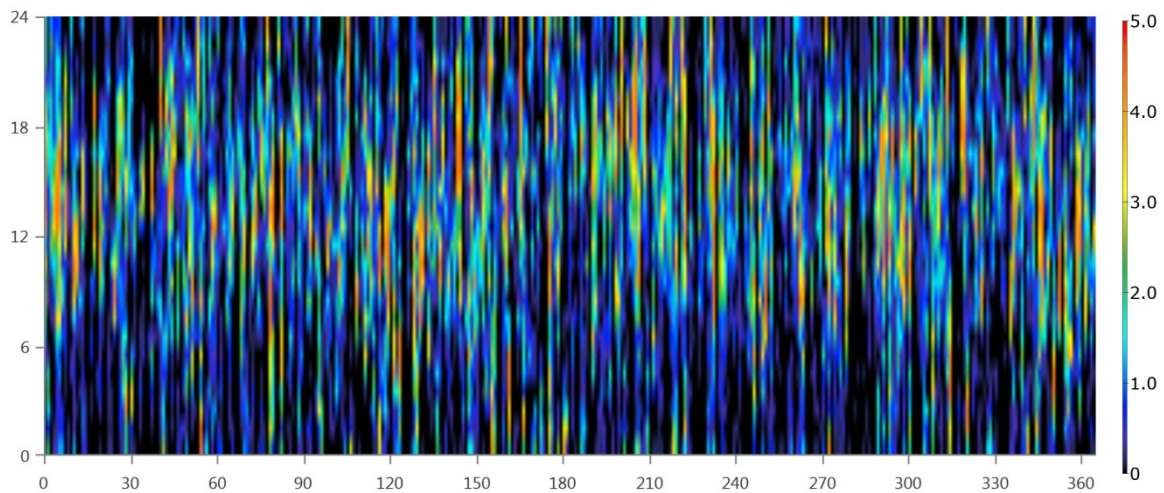


Figura 27 - Generación eólica en función del día del año y la hora [kW]

8.10.4 Generación eólica nueva

La tabla 9 detalla las características del sistema de generación eólica que surge como resultado de la simulación óptima en HOMER. Esta resulta de la instalación de tres aerogeneradores de las características detalladas en el punto 8.4. El gráfico de la figura 28 presenta la generación estimada en función del día del año y la hora.

Tabla 9 - Características eléctricas y estadísticas de operación de la planta de energía eólica

Característica	Valor
Salida mínima	0 kW
Salida máxima	12,8 kW
Capacidad nominal	13,5 kW
Potencia de salida promedio	3,38 kW
Factor de capacidad	25,1 %
Horas de operación	8.104 h/año
Penetración eólica	26,1 %
Producción total	29.590 kWh/d
Costo normalizado	0,183 u\$/kWh

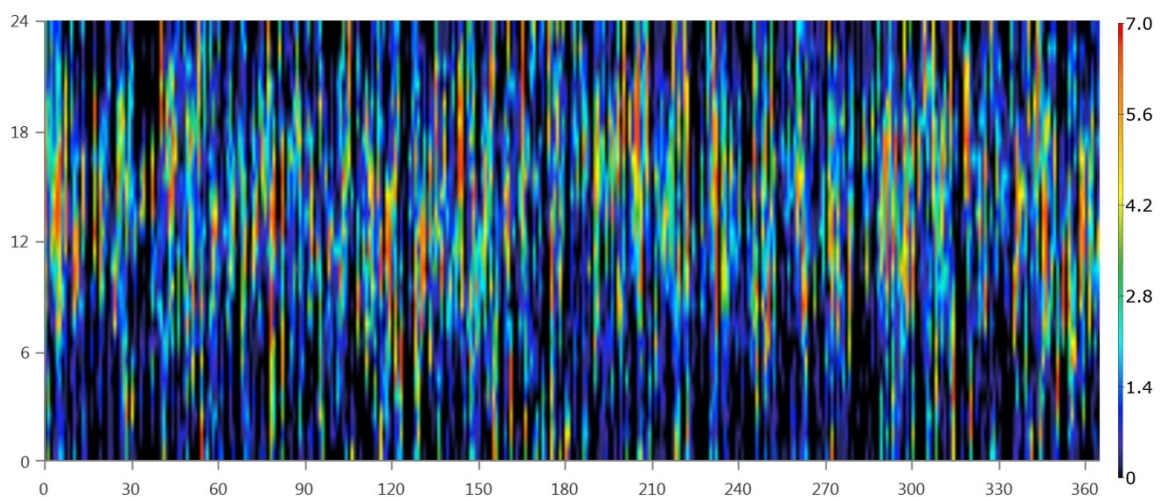


Figura 28 - Generación eólica en función del día del año y la hora [kW]

8.10.5 Generación convencional

La tabla 10 resume las características y condiciones de operación del generador GLP. Se consideró la utilización del generador trifásico, descrito en el punto 5.3.3.2.1. El gráfico de la figura 29 presenta la generación estimada del grupo convencional para cada día del año y hora.

Tabla 10 - Características y estadísticas de operación del generador GLP

Característica	Valor
Potencia mínima	4,15 kW
Potencia máxima	12,8 kW
Potencia nominal	12,8 kW
Potencia promedio	12 kW
Energía generada por año	22.615 kWh/año
Horas de operación	477 h/año
Cantidad de arranques por año	138
Costo fijo	2,48 u\$d/h
Costo marginal	0,205 u\$d/kWh
Consumo de GLP	1.758 kg/año

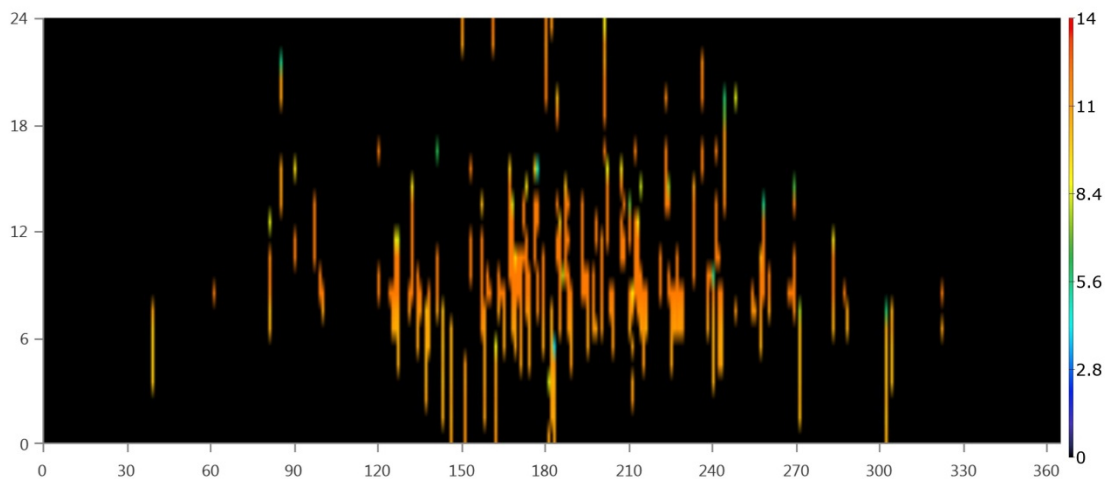


Figura 29 - Generación convencional en función del día del año y la hora [kW]

8.10.6 Inversor

La tabla 11 resume las características y condiciones de operación del inversor bidireccional que surge como resultado de la simulación de optimización en HOMER.

Tabla 11 - Características y estadísticas de operación del inversor

Característica	Valor
Potencia nominal	8 kW
Potencia media	3,89 kW
Horas de operación	8.283 h/año
Energía de salida	34.095 kWh/año
Energía de entrada	35.890 kWh/año
Pérdidas	1.794 kWh/año

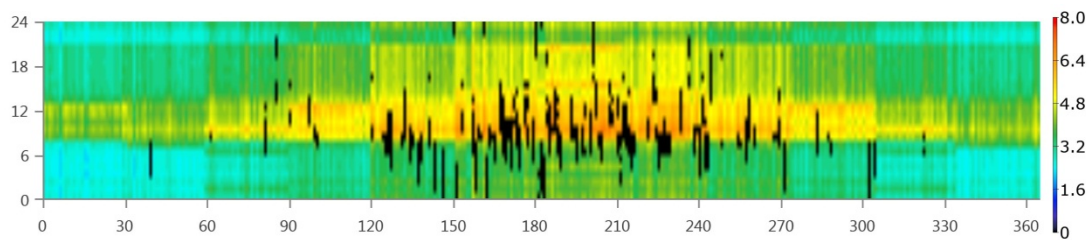


Figura 30 - Potencia en el inversor en función del día del año y la hora [kW]

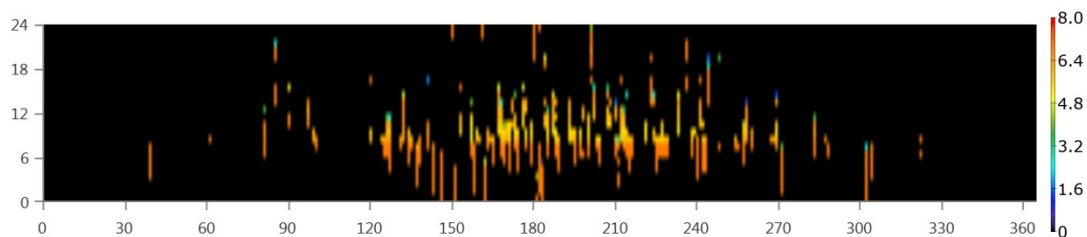


Figura 31 - Potencia en el rectificador en función del día del año y la hora [kW]

8.10.7 Baterías

La tabla 12 resume las características del sistema de almacenamiento de energía en baterías y las estadísticas de operación del banco.

Para lograr una vida útil prologada del banco de batería se limita el estado de carga mínimo al 45%.

Tabla 12 - Características y estadísticas de operación del banco de baterías

Característica	Valor
Cantidad de baterías	32
Baterías por serie	8
Series en paralelo	4
Tensión del banco	48 V
Autonomía del banco	17,5 h
Costo de almacenamiento	0,233 u\$/kWh
Expectativa de vida útil	10,9 años

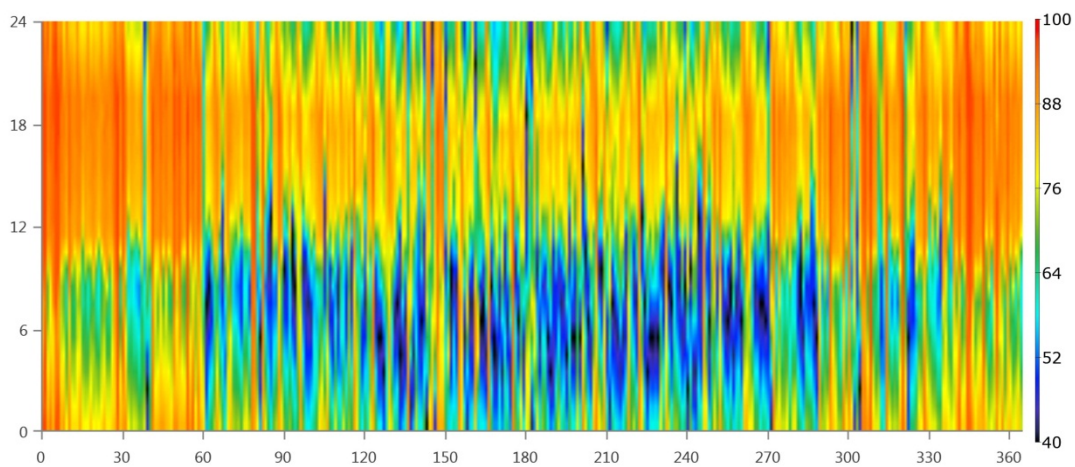


Figura 32 - Estado de carga del banco de baterías según día del año y horario [%]

8.10.8 Obra civil

Según sean las características de los equipos provistos se requiere una obra civil que contará al menos con las dependencias que se detallan entre los puntos 8.10.8.1 y 8.10.8.4.

La Figura 33 presenta un layout básico de las salas a construir.

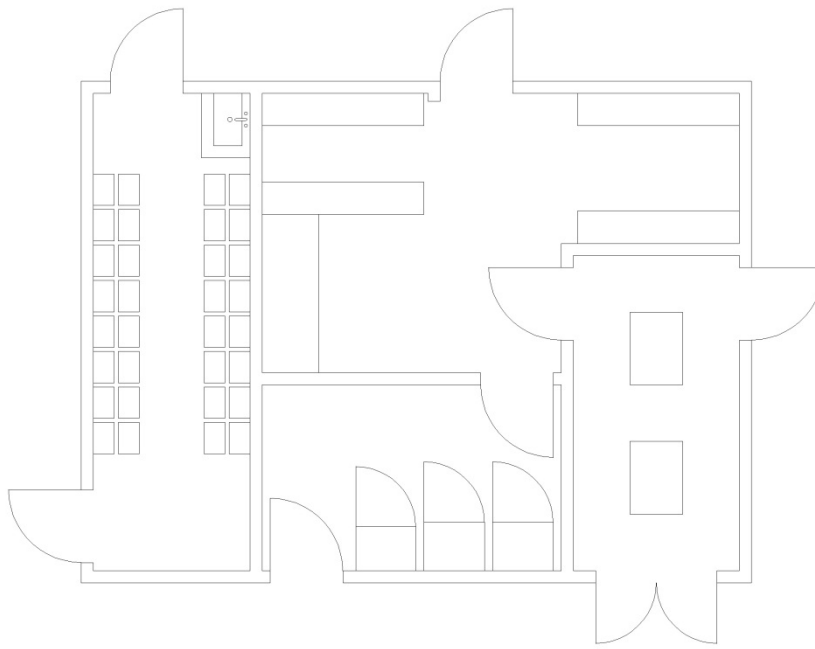


Figura 33 - Planta propuesta para el edificio

8.10.8.1 *Sala de Baterías:*

Este ambiente se dimensionará de acuerdo a las características particulares de las baterías que se provean, se debe tener especial atención en que el acceso y las maniobras de montaje de los bancos sea posible y con bancos montados sea posible reponer cualquiera las baterías de cada uno de los bancos sin riesgo para la seguridad de los operarios.

Se recomiendan disposiciones que permitan el acceso directo cada batería. Con pasillos y esquinas que permitan el acarreo de una carretilla o Zorra manual adecuada para el traslado de las mismas. Esta sala debe estar adecuadamente ventilada y ser provista de un sistema de detección de hidrógeno permanente.

Los bancos estarán montados en bandejas adecuadas para contener el electrolito en caso de derrame.

Su estructura se calculará considerando el peso de las baterías.

La sala contará con acondicionamiento de temperatura para garantizar el rango óptimo de operación de las baterías que se provean.

La iluminación de esta sala será antiexplosiva.

8.10.8.2 *Sala de tableros reguladores e inversores:*

Esta será una sala limpia, completamente cerrada con aberturas selladas que garanticen el no ingreso de polvo.

Contará con piso liso con cualquier terminación que garantice la no acumulación de polvo, tierra etc. y minimice la generación de electricidad estática.

Esta sala se encontrará adecuadamente aislada/compartimentada respecto a la sala de baterías y sala de motores.

Se dimensionará de acuerdo a las características particulares del equipamiento provisto.

Las paredes deberán diseñarse de forma tal que garanticen el anclaje de tableros su portación y la correcta distribución de bandejas porta cables.

8.10.8.3 Salas de generadores GLP

Esta sala será dimensionada en función de las características de los equipos provistos. Dispondrá de espacio para dos motores idénticos. Se dispondrá de las instalaciones de montaje, combustible, gases de escape, facilidades de mantenimiento y acometidas eléctricas para los dos equipos.

Se recomienda el montaje de un monorriel sobre cada equipo que permita realizar tareas de montaje y mantenimiento.

Se montaran contenedores de derrames apropiados alrededor de cada equipo.

La plataforma de montaje será calculada para el uso considerando cargas y vibraciones.

Esta sala será adecuadamente ventilada por medios naturales y de convección forzada preservando la limpieza.

8.10.8.4 Taller - Depósito:

Se dispondrá de un espacio adecuado para realizar tareas de mantenimiento, con mesas de trabajo y elementos de sujeción y manejo de cargas de hasta 1000 kg. Este será un ambiente permanente para operarios del sistema y eventual para los especialistas de mantenimiento.

Deberá adicionalmente contar con espacio e infraestructura para el almacenaje de repuestos del sistema. Se tendrá en cuenta la posibilidad de almacenar:

- Paneles solares
- Estructuras de montaje de paneles.
- Tableros eléctricos y electrónicos.
- Repuestos de aerogeneradores

- Repuestos de motor.
- Aceite
- Grasas
- Solventes
- Agua destilada
- Cables
- Accesorios de montaje en general (tornillería, ferretería)

8.10.9 Sitio de implantación

La superficie mínima adicional requerida para el nuevo sistema de generación es de 51 m² de nueva edificación y 600 m² para la ubicación de paneles.

El sitio de implantación de los equipos de generación propuestos, en principio, podría ser el terreno ubicado próximo a la escuela, hacia el norte de la misma. La figura 34 ilustra el sitio de implantación propuesto.



Figura 34 - Sitio de implantación

8.10.10 Resumen de costos

La tabla 13 presenta un resumen de los costos actuales netos del proyecto. La tabla 14 presenta los costos anualizados. El gráfico de la figura 35 presenta un resumen de los costos. La figura 36 presenta el flujo de caja nominal, diferenciado por tipo de costo, mientras que la figura 37 presenta el

flujo de caja nominal diferenciado por equipo asociado. Todos los valores presentados están en dólares estadounidenses.

Tabla 13 - Costo actual neto

	Capital	Operación y mantenimiento	Remplazo	Valor residual	Recursos	Total
Baterías	38.400	11.117	17.210	-1.600	0	65.127
Generador GLP	1.000	8.285	0	-1.160	15.272	23.397
Aerogeneradores existentes	0	5.790	0	0	0	5.790
Aerogeneradores nuevos	6.450	8.685	0	0	0	15.135
Inversor bidireccional	4400	84	0	-257	0	4.228
Planta fotovoltaica existente	0	115	0	-117	0	-2
Planta fotovoltaica nueva	19.537	3.016	0	0	0	22.554
Proyecto, instalación y puesta en marcha	110.000	0	0	0	0	110.000
Sistema	179.788	37.095	17.210	-3.135	15.272	246.230

Tabla 14 - Costo anualizado

	Capital	Operación y mantenimiento	Remplazo	Valor residual	Recursos	Total
Baterías	38.400	11.117	17.210	-1.600	0	65.127
Generador GLP	1.000	8.285	0	-1.160	15.272	23.397
Aerogeneradores existentes	0	5.790	0	0	0	5.790
Aerogeneradores nuevos	6.450	8.685	0	0	0	15.135
Inversor bidireccional	4400	84	0	-257	0	4.228
Planta fotovoltaica existente	0	115	0	-117	0	-2
Planta fotovoltaica nueva	19.537	3.016	0	0	0	22.554
Proyecto, instalación y puesta en marcha	110.000	0	0	0	0	110.000
Sistema	179.788	37.095	17.210	-3.135	15.272	246.230

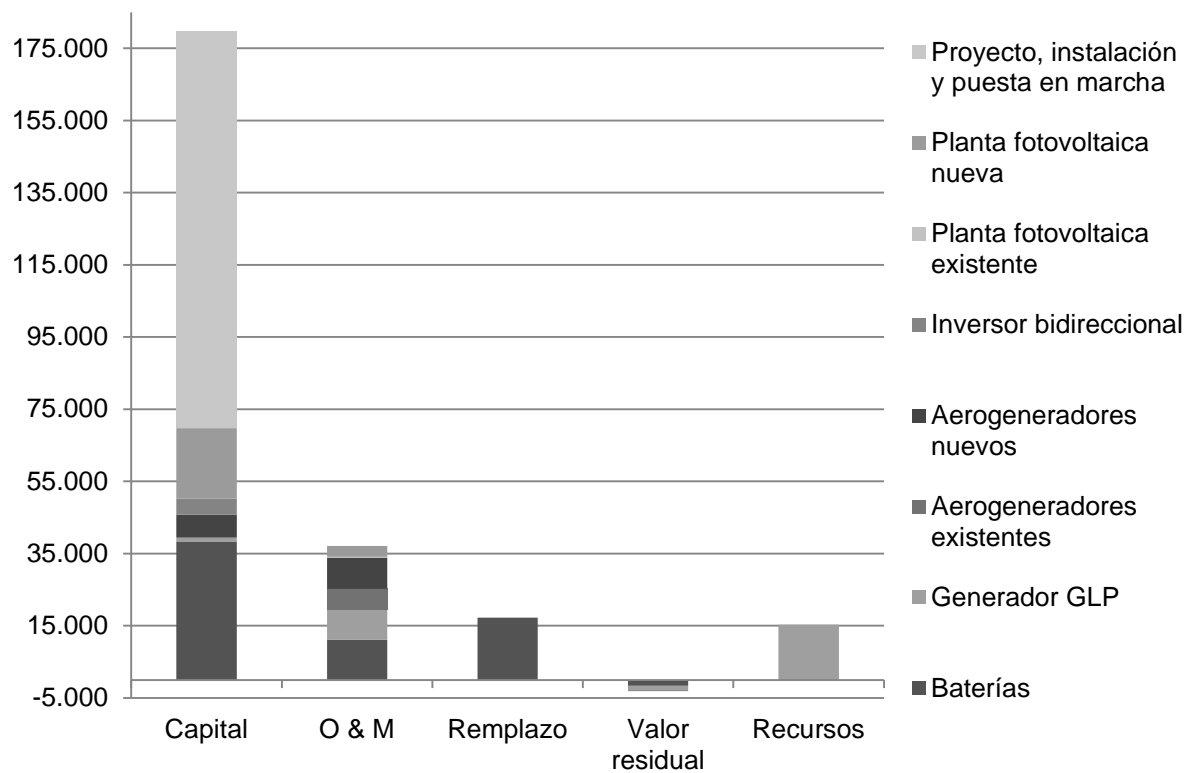


Figura 35 - Resumen de costos

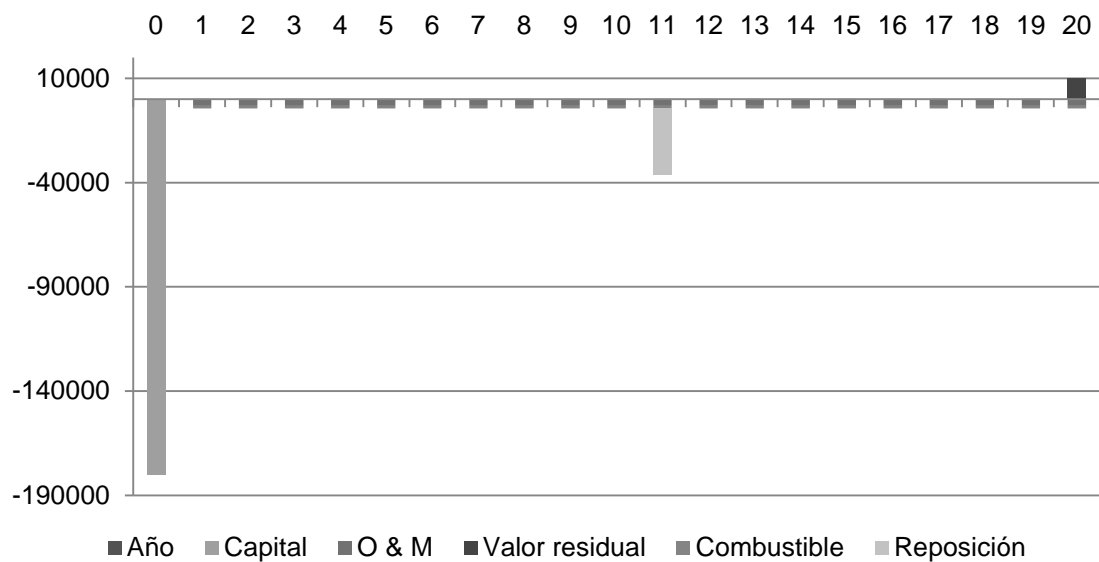


Figura 36 - Flujo de caja nominal por tipo de costo

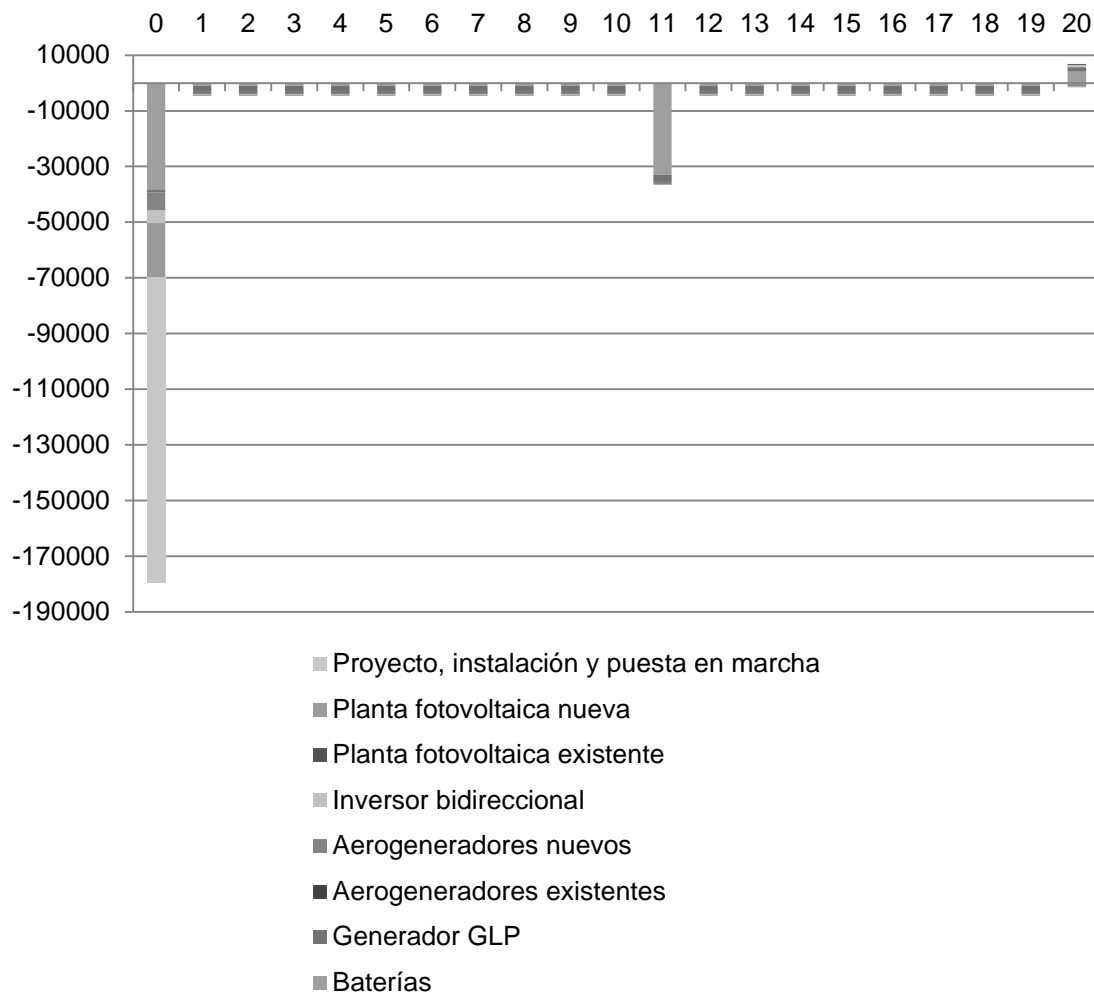


Figura 37 - Flujo de caja nominal por equipo asociado

8.10.11 Comparativa con el caso base

De la comparación entre los flujos de caja de la micro-red híbrida desarrollada en este trabajo y los que corresponden a uno de los generadores GLP existentes, funcionando durante 24 hs al día, y la red de distribución para las viviendas del paraje surgen los datos de la tabla 15.

En la figura 38 se observan los flujos de caja nominales acumulados de ambas alternativas. En la misma se evidencia que el periodo de recupero simple del proyecto es de 6,6 años aproximadamente. La figura 39 presenta los flujos de caja descontados. En la misma se observa que el periodo de recupero descontado es de 8,5 años.

Se observa en ambos flujos de cajas acumulados un quiebre en la curva de la micro-red alrededor del año 11, esto se debe al remplazo del banco de baterías.

Tabla 15- Resultados económicos en comparación con caso base

Valor actual neto	u\$d 316.409
Retorno de la inversión	58,17%
Tasa interna de retorno	10,44%
Periodo de recupero simple	6,6 años
Periodo de recupero descontado	8,5 años

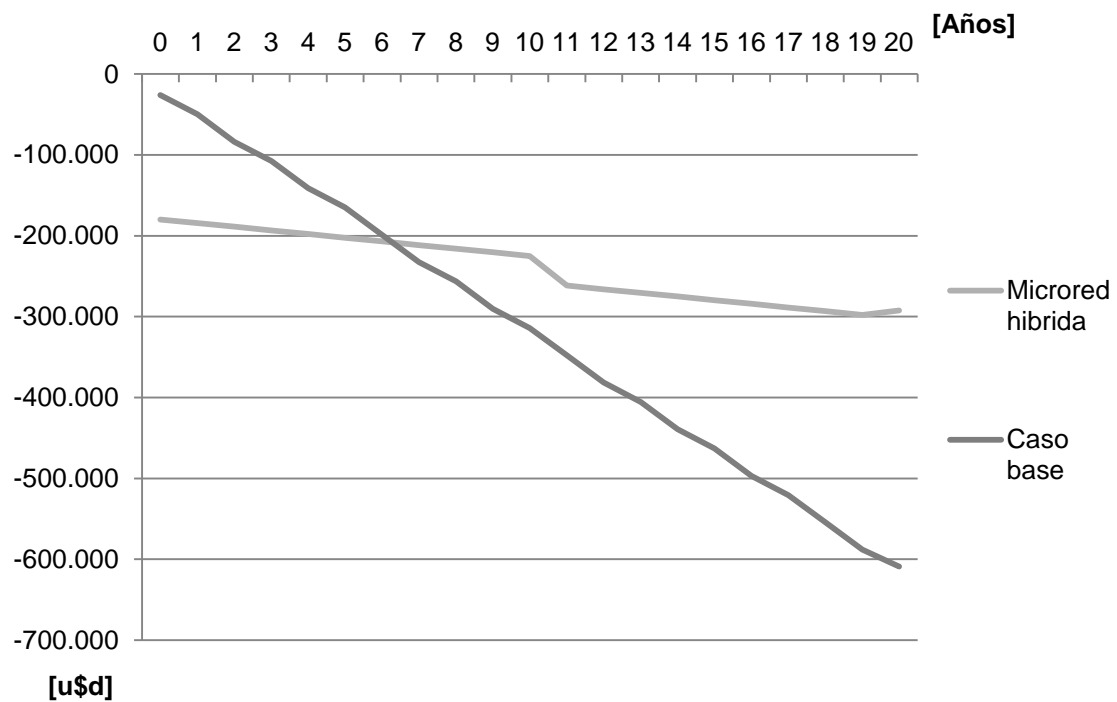


Figura 38 - Flujos de caja nominales acumulados

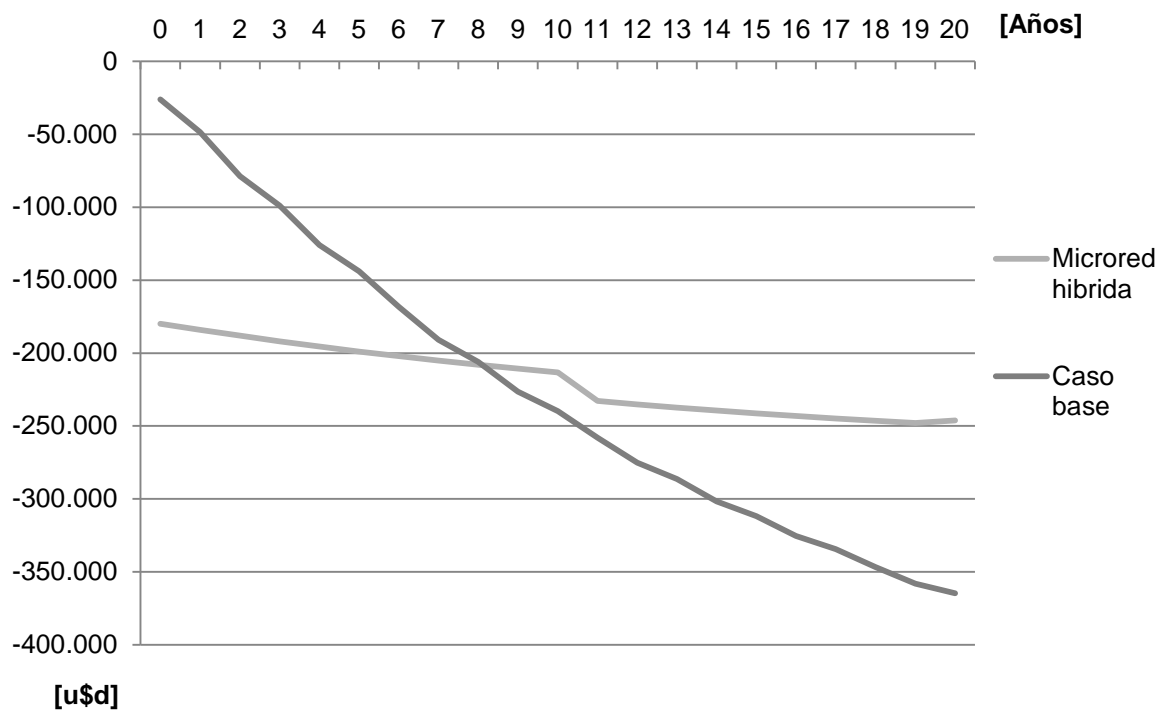


Figura 39 - Flujos de caja descontados acumulados

9 EXTENSIÓN DE LA RED EXISTENTE

Considerando un costo de extensión de la red de media tensión de 13,2 kV existente de 13.000 u\$d/km, y la instalación de un transformador trifásico tipo rural de 16 kVA, se estima un costo de extensión de la red de u\$d 200.000.

La extensión de la red, en principio, requeriría una inversión inicial del mismo orden de magnitud que la necesaria para la instalación de la micro-red, y sus costos de operación y mantenimiento se estiman menores.

La factibilidad técnica de esta extensión deberá ser corroborada con la empresa distribuidora.