



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIERÍA
INDUSTRIAL VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

ÁNÁLISIS DE VIABILIDAD DE DIFERENTES CONFIGURACIONES DE SISTEMAS RENOVABLES HÍBRIDOS COMBINADO CON UN SISTEMA PARA LA GENERACIÓN Y ACUMULACIÓN DE ENERGÍA EN LA URBANIZACIÓN SAN ISIDRO (ASPE, ALICANTE)

AUTOR: SANTIAGO CALATAYUD VICEDO

TUTORA: ELISA PEÑALVO LÓPEZ

COTUTOR: FRANCISCO JAVIER CÁRCEL CARRASCO

Curso Académico: 2019-20

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi tutora Elisa Peñalvo López y a Begoña Belda Ramón por su tiempo dedicado a este proyecto y su ayuda.

A mis compañeros por su apoyo, así como a mis padres por darme la oportunidad de estudiar.

RESUMEN

Analizar distintas configuraciones de sistemas híbridos renovables en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante). Para ello, se analizará la demanda eléctrica, los recursos disponibles en la zona y las tecnologías disponibles con el fin de analizar varias alternativas posibles y seleccionar una de ellas. Por último, añadir un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno, utilizando de esta forma el excedente de energía producida por sistema renovable híbrido.

Palabras Clave: Sistemas renovables híbridos, energías renovables, optimización, HOMER, generación de hidrógeno, almacenamiento de energía.

RESUM

Analitzar diferents configuracions de sistemes híbrids renovables a la urbanització Sant Isidre (Aspe, Alacant). Per a això, s'analitzarà la demanda elèctrica, els recursos disponibles a la zona i les tecnologies disponibles per tal d'analitzar diverses alternatives possibles i seleccionar una d'elles. Finalment, afegir un sistema per a la generació i acumulació d'energia en forma d'hidrogen, utilitzant d'aquesta manera l'excedent d'energia produïda per sistema renovable híbrid.

Paraules clau: Sistemes renovables híbrids, energies renovables, optimització, HOMER, generació d'hidrogen, emmagatzematge d'energia.

ABSTRACT

Analyze different configurations of renewable hybrid systems in the San Isidro urbanization (Aspe, Alicante). For this, the electricity demand, the resources available in the area and the available technologies will be analyze various possible alternatives and select one of them. Finally, add a system for the generation and accumulation of energy in the form of hydrogen, thus using the surplus energy produced by the hybrid renewable system.

Keywords: Hybrid renewable systems, renewable energy, optimization, HOMER, hydrogen generation, energy storage.

ÍNDICE DE LA MEMORIA

CAPÍTULO 1.	Introducción	17
1.1	Marco global.....	17
1.2	HOMER	17
1.3	Objetivo.....	17
CAPÍTULO 2.	Marco teórico.....	19
2.1	Energías renovables	19
2.1.1	Energía solar	19
2.1.2	Energía eólica	19
2.1.3	Microhidráulica	20
2.1.4	Biomasa	20
2.1.5	Energía geotérmica	21
CAPÍTULO 3.	Caracterización del emplazamiento.....	22
3.1	Ubicación.....	22
3.2	Demanda energética	22
3.3	Caracterización del recurso renovable disponible	25
3.3.1	Recurso solar	25
3.3.2	Recurso eólico	26
3.3.3	Biomasa	29
3.3.4	Recurso hidráulico.....	31
3.3.5	Energía geotérmica	33
CAPÍTULO 4.	Tecnologías disponibles	36
4.1	Energía solar fotovoltaica.....	36
4.2	Energía eólica	39
4.3	Baterías.....	40
4.4	Inversor	41
4.5	Red eléctrica.....	41
4.6	Gasificador de madera natural.....	42

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)

4.7	Sistema de hidrógeno.....	43
4.7.1	Electrolizador.....	43
4.7.2	Pila de combustible	44
4.7.3	Tanque de hidrógeno	45
CAPÍTULO 5.	Análisis de las soluciones	46
5.1	Alternativas planteadas.....	46
5.2	Criterios de selección	46
CAPÍTULO 6.	Análisis de las soluciones	47
6.1	Componentes del sistema	47
6.1.1	Aerogenerador	47
6.1.2	Gasificador de biomasa	48
6.1.3	Instalación fotovoltaica	49
6.1.4	Inversor.....	52
6.1.5	Batería	52
6.1.6	Red eléctrica.....	53
6.1.7	Electrolizador.....	54
6.1.8	Tanque de almacenamiento.....	55
6.1.9	Pila de combustible	56
6.2	Estudio de las alternativas.....	57
6.2.1	Alternativa 1: Gasificador, placas solares y baterías	57
6.2.2	Alternativa 2: placas solares conectadas a red.	65
6.2.3	Alternativa 3: gasificador, placas solares y sistema de hidrógeno.....	68
6.2.4	Alternativa 0: sistema conectado a red.....	75
6.3	Elección de la alternativa	76
6.3.1	Comparación de las alternativas según los criterios ya definidos.....	76
6.3.2	Elección final.....	78
CAPÍTULO 7.	Conclusión	80
CAPÍTULO 8.	Bibliografía	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Logo de HOMER. Fuente: HOMER Energy	17
Figura 2. Localización de la urbanización San Isidro. Fuente: Google Maps	22
Figura 3. Vivienda en la urbanización San Isidro	23
Figura 4. Irradiancia Global media [1983-2005] (kWh m ⁻² d ⁻¹) SIS (CM-SAF)	25
Figura 5. Esquema de una central minihidráulica	31
Figura 6. Recorrido del río Vinalopó (izquierda) e imagen a su paso por Novelda (derecha).	32
Figura 7. Esquema de funcionamiento de planta flash	33
Figura 8. Mapa recursos geotérmicos de baja temperatura en España. Fuente: IDAE. Evaluación del potencial de energía geotérmica.....	34
Figura 9. Mapa de recursos geotérmicos de media y alta temperatura en España. Fuente: IDAE. Evaluación del potencial de energía geotérmica.	35
Figura 10. Mapa de situación de acuíferos para aprovechamiento térmico por bomba de calor (derecha) y mapa de potencia térmica superficial (izquierda) en la Comunidad Valenciana. Fuente: IDAE. Evaluación del potencial de energía geotérmica.....	35
Figura 11. Esquema efecto fotovoltaico.....	36
Figura 12. Célula fotovoltaica.....	37
Figura 13. Estructura módulo solar fotovoltaico	37
Figura 14. Celda electroquímica.....	41
Figura 15. Inversor. Fuente: www.areatecnologia.com	41
Figura 16. Red eléctrica	42
Figura 17. Ejemplo de gasificador de biomasa.....	42
Figura 18. Esquema de proceso de un electrolizador.	44
Figura 19. Pila de combustible de hidrógeno	44
Figura 20. Esquema de los distintos tipos de tanques de hidrógeno comprimido	45
Figura 21. Enair 30 pro	47
Figura 22. Gasificador de madera natural HKA 10	49
Figura 23. Placa solar 400W Jinko Mono Perc.....	50
Figura 24. Curva características de la placa.....	50

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)

Figura 25. Inversor híbrido 10kW Kostal Plenticore Plus.	52
Figura 26. Electrolizador HyPEM XP 024	55
Figura 27. Precio estimado del electrolizador. Fuente: Electrólisis PEM de baja temperatura y sus aplicaciones industriales. Universidad de Sevilla.	55
Figura 28. MyH2 7000	55
Figura 29. Pila de combustible.	57
Figura 30. Esquema de la alternativa 1. Fuente: HOMER.....	57
Figura 31. Resultados de la alternativa 1 en HOMER.....	57
Figura 32. Producción y consumo de energía de la alternativa 1. Fuente: HOMER.....	58
Figura 33. Emisiones del sistema en la alternativa 1. Fuente: HOMER.....	60
Figura 34. Funcionamiento de las baterías en la alternativa 1. Fuente: HOMER.....	61
Figura 35. Funcionamiento del inversor de la alternativa 1. Fuente: HOMER.....	63
Figura 36. Esquema de la alternativa 2. Fuente: HOMER.....	65
Figura 37. Resultados de la alternativa 2 en HOMER.....	65
Figura 38. Producción y consumo de energía en la alternativa 2. Fuente: HOMER.....	65
Figura 39. Emisiones de la alternativa 2. Fuente: HOMER.....	67
Figura 40. Funcionamiento de inversor. Fuente: HOMER.....	68
Figura 41. Esquema de la alternativa 3. Fuente: HOMER.....	68
Figura 42. Configuraciones de la alternativa 3. Fuente: HOMER.....	69
Figura 43. Producción y consumo de energía de la alternativa 3. Fuente: HOMER.....	69
Figura 44. Emisiones de la alternativa 3. Fuente: HOMER.....	71
Figura 45. Configuración de la alternativa 0. Fuente: HOMER.....	75
Figura 46. Producción y consumo de energía de la alternativa 0. Fuente: HOMER.....	75
Figura 47. Emisiones de la alternativa 0. Fuente: HOMER.....	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Consumo mensual aproximado de los electrodomésticos en una casa.	23
Tabla 2. Tipos de procesos para la obtención de energía eléctrica con biomasa	30
Tabla 3. Tipos de biocombustibles sólidos	30
Tabla 4. Aplicaciones de la energía geotérmica	33
Tabla 5. Tipos de pilas de combustible. Fuente: Centro Nacional del Hidrógeno.....	45
Tabla 6. Características del aerogenerador Enair 30 Pro	47
Tabla 7. Costes del aerogenerador en HOMER.	48
Tabla 8. Datos técnicos gasificador HKA 10.....	49
Tabla 9. Costes del gasificador de madera.	49
Tabla 10. Parámetros de la placa solar usados en HOMER.	51
Tabla 11. Costes de la placa solar en HOMER.	52
Tabla 12. Parámetros del inversor en HOMER.	52
Tabla 13. Costes del convertidor en HOMER.	52
Tabla 14. Parámetros batería.	53
Tabla 15. Batería Vision 6FM2200D	53
Tabla 16. Costes de la batería en HOMER	53
Tabla 17. Parámetros de la red eléctrica en HOMER.	53
Tabla 18. Emisiones de la red en HOMER.	54
Tabla 19. Características técnicas del electrolizador HyPEM XP 024	54
Tabla 20. Costes del electrolizador en HOMER	55
Tabla 21. Características técnicas de MyH2 3000	56
Tabla 22. Costes del electrolizador en HOMER	56
Tabla 23. Características de la pila de combustible FCveloCity-MD de 30kW	56
Tabla 24. Costes de la pila de combustible en HOMER	56
Tabla 25. Coste de la alternativa 1	60
Tabla 26. Costes de la alternativa 3.....	71

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado
con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de
hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)

Tabla 27. Comparación de los costes de cada alternativa.	76
Tabla 28. Comparación del exceso de electricidad en cada alternativa.	77
Tabla 29. Comparación de la fracción renovable en cada alternativa.	77
Tabla 30. Comparación de las emisiones de cada alternativa.	78
Tabla 31. Evaluación de cada alternativa.	79

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Consumo eléctrico en una vivienda por horas durante un día	24
Gráfica 2. Demanda eléctrica de la vivienda estudiada por mes	24
Gráfica 3. Demanda eléctrica final	25
Gráfica 4. Radiación diaria e índice de claridad	26
Gráfica 5. Temperatura media en Aspe.	26
Gráfica 6. Velocidad media del viento por mes	27
Gráfica 7. Rosa de los vientos. Fuente: MeteoBlue.	27
Gráfica 8. Variación del viento con la altura	28
Gráfica 9. Histograma de velocidad del viento. Fuente: HOMER.....	28
Gráfica 10. Biomasa, evolución de la potencia instalada y energía vendida en España. Fuente: CNMC y elaboración APPA Renovables.....	29
Gráfica 11. Evolución anual del precio de la energía al consumidor en el año 2019. Fuente: Eurostat, IDAE	31
Gráfica 12. Campo de utilización de los diferentes tipos de turbinas. Fuente: IDAE. Minicentrales hidroeléctricas.....	32
Gráfica 13. Caudales medios mensuales del río Vinalopó. Fuente: Anuario de aforos CEDEX ...	33
Gráfica 14. Curvas I-V en función de temperatura y radiación	38
Gráfica 15. Curva I-V de un módulo fotovoltaico	39
Gráfica 16. Coeficientes de potencia	40
Gráfica 17. Curva de potencia	40
Gráfica 18. Curva de potencia Enair 30 Pro.....	48
Gráfica 19. Producción media mensual de la alternativa 1. Fuente: HOMER.....	58
Gráfica 20. Exceso de electricidad de la alternativa 1 en julio. Fuente: HOMER.	59
Gráfica 21. Exceso de electricidad de la alternativa 1 en marzo. Fuente: HOMER.....	59
Gráfica 22. Exceso de electricidad de la alternativa 1 en enero. Fuente: HOMER.....	60
Gráfica 23. Costes por componente de la alternativa 1. Fuente: HOMER.	61
Gráfica 24. Estado de carga de las baterías. Fuente: HOMER.....	61
Gráfica 25. Funcionamiento del gasificador en la alternativa 1. Fuente: HOMER.	62

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)

Gráfica 26. Producción de las placas solares en la alternativa 1. Fuente: HOMER.....	62
Gráfica 27. Producción de las placas solares de la alternativa 1 en noviembre. Fuente: HOMER.	62
Gráfica 28. Producción de las placas solares de la alternativa 1 en julio. Fuente: HOMER.	63
Gráfica 29. Demanda no satisfecha en la alternativa 1. Fuente: HOMER.....	64
Gráfica 30. Comparación del sistema aislado y conexión a red de la alternativa 1. Fuente: HOMER.....	64
Gráfica 31. Producción media mensual de la alternativa 2. Fuente: HOMER.....	66
Gráfica 32. Producción de electricidad en los días de verano en la alternativa 2. Fuente: HOMER.	66
Gráfica 33. Coste de la alternativa 2	67
Gráfica 34. Coste de cada componente en la alternativa 2. Fuente: HOMER.....	67
Gráfica 35. Comparación del inversor y las placas solares. Fuente: HOMER.	68
Gráfica 36. Producción media anual de la alternativa 3. Fuente: HOMER.....	69
Gráfica 37. Exceso de electricidad en septiembre. Fuente: HOMER.....	70
Gráfica 38. Exceso de electricidad en agosto. Fuente: HOMER.	71
Gráfica 39. Coste por componente de la alternativa 3. Fuente: HOMER.....	72
Gráfica 40. Producción media anual de hidrógeno. Fuente: HOMER.	72
Gráfica 41. Nivel de almacenamiento en los tanques de hidrógeno. Fuente: HOMER.....	73
Gráfica 42. Potencia generada por la pila de combustible. Fuente: HOMER.....	73
Gráfica 43. Potencia generada por el gasificador. Fuente: HOMER.....	73
Gráfica 44. Comparación del exceso de electricidad con gasificador conectado y no conectado. Fuente: HOMER.....	74
Gráfica 45. Funcionamiento del inversor. Fuente: HOMER.	75
Gráfica 46. Producción media anual de la alternativa 0. Fuente: HOMER.....	75

MEMORIA

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 MARCO GLOBAL

Uno de los mayores desafíos en los que se ve inmerso nuestro planeta es la forma de obtener la energía eléctrica que necesitamos. Como es sabido, especialmente en los últimos años, el uso de fuentes de energía no renovables agrava problemas como el cambio climático.

Es por ello por lo que las energías renovables son una opción que deberíamos estudiar e implementar lo antes posible.

Una de las opciones para adaptar este tipo de energías a las necesidades humanas es el uso de sistemas híbridos para generar energía. De esta forma, se podría hacer uso de ellos para generar energía en zonas rurales, urbanizaciones, fábricas, etc.

1.2 HOMER

Una herramienta muy utilizada para diseñar proyectos en el área de energías renovables es el uso de un software completo y adecuado. Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources (HOMER) es un software útil para simular sistemas híbridos renovables.



Figura 1. Logo de HOMER. Fuente: HOMER Energy

Este software permite analizar la viabilidad técnica y económica de distintas opciones tecnológicas. Las opciones obtenidas se muestran en HOMER mostrando como primera opción la de menor coste neto. Hoy en día este software lo usan unos 200.000 usuarios en más de 190 países convirtiéndose así en uno de los softwares más usados para el diseño de sistemas energéticos.

1.3 OBJETIVO

Este trabajo trata sobre el análisis de un sistema híbrido renovable en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante).

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)

Para ello, analizaremos la demanda de la urbanización, los recursos de la zona y las tecnologías que podemos usar para aprovechar correctamente estos recursos. Una vez estudiada la configuración más adecuada, se plantearán distintas alternativas de sistema híbrido conectado a red las cuales serán: renovables + baterías, renovables + red y renovables + hidrógeno. Se pretende estudiar dos alternativas aisladas para analizar el precio y el funcionamiento, comparando también con un sistema conectado a red que nos permitirá comparar con esta opción los sistemas aislados.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1 ENERGÍAS RENOVABLES

Las energías renovables son aquellas fuentes de energía que son inagotables, unas por la energía que almacenan, mientras que otras se regeneran por medios naturales.

Estas fuentes se dividen en no contaminantes y contaminantes. Entre las no contaminantes, destacan la energía solar, energía eólica, energía hidráulica, energía geotérmica, energía mareomotriz, energía undimotriz y energía azul. Por otra parte, las contaminantes se obtienen a partir de la biomasa y se pueden usar como combustible, o transformarlos en bioetanol, biogás o biodiesel.

A continuación, explicaremos los principales tipos de energías renovables que pueden ser usados en nuestra instalación, así como sus ventajas y desventajas.

2.1.1 Energía solar

De este tipo de energía se puede obtener rendimiento a través del calor que genera el Sol o gracias a la radiación.

Se diferencian la energía solar térmica (se usa para ACS principalmente), y la energía solar fotovoltaica. Como el proyecto se centra en el suministro eléctrico de una urbanización, se explicarán las ventajas y desventajas de la energía solar fotovoltaica.

Las principales ventajas serían:

- Fuente inagotable.
- No contaminantes.
- No se generan ruidos.
- Gran disponibilidad.

Entre las desventajas hay que destacar:

- Impacto visual alto.
- Recursos geográficos desiguales.

2.1.2 Energía eólica

La energía eólica es un derivado de la energía solar. Esta consiste en transformar la energía cinética del viento, mediante aerogeneradores, en electricidad. Ya se cuenta con tecnología madura con la que se puede obtener electricidad a partir del viento.

Se diferencian 2 tipos de generación. Destaca la producción de grandes cantidades de energía vertiendo esta energía a la red y la generación minieólica usando aerogeneradores de potencia media o baja.

Las ventajas de este tipo de energía son:

- Energía renovable y limpia.
- Está disponible en todo el planeta.
- Se adapta fácilmente.
- Facilidad en su instalación.

Sin embargo, estas son sus desventajas:

- Poca fiabilidad en la continuidad de las rachas de viento.
- Existencia de una velocidad máxima.
- Impacto medioambiental.

2.1.3 Microhidráulica

La energía hidráulica se genera a partir de las energías cinéticas y potenciales del agua en movimiento. Se considera como energía renovable ya que no genera emisiones nocivas para el medio ambiente.

Esta fuente de energía se considera minihidráulica cuando alcanza como mucho unos 10 MW de potencia o cuando la presa construida es de unos 15 metros de altura o menos.

Las ventajas de esta forma de energía son:

- Es flexible.
- No produce residuos.
- Es segura.

Por otro lado, entre sus desventajas destacan:

- Efectos medioambientales.
- Es estacional y los periodos de sequía afectan notablemente a la producción.

2.1.4 Biomasa

La biomasa es materia orgánica de origen vegetal, animal o procedente de la transformación natural o artificial de la misma. Es una fuente de energía útil para generar calor o para producir electricidad.

Se pueden utilizar procesos termoquímicos (combustión, gasificación y pirólisis) que se encargan de convertir parte de la energía química almacenada en la biomasa en energía térmica. Esta energía térmica se puede emplear posteriormente para calefacción o para producción de electricidad.

Las ventajas de este tipo de energía son:

- Energía renovable y poco contaminante.
- Disponible en todo el mundo.
- Barata.
- El balance de emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera es neutro, forma parte del ciclo natural del CO₂.

Sus desventajas serían:

- Es necesario el uso de filtros y demás medidas para permitir que la combustión se realice de forma correcta, como por ejemplo alcanzar una temperatura cercana a los 900 °C.

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)

- Se necesita más biomasa que cualquier otro combustible fósil para obtener la misma energía.
- Requiere de grandes espacios de almacenamiento.

2.1.5 Energía geotérmica

La energía geotérmica es una energía renovable obtenida a partir del calor del interior de la Tierra el cual es transmitido por conducción y/o convección.

Las ventajas serían:

- Apenas genera residuos.
- Prácticamente inagotable.
- El dióxido de carbono producido es inferior a las emisiones producidas por obtener esta energía mediante combustión.

Por otra parte, las desventajas serían:

- Contaminación de aguas.
- Se deteriora el paisaje.
- No es transportable.
- Solo está disponible en ciertos lugares.

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)

Esta urbanización está formada por 30 viviendas de 200 m² de superficie, 3 habitaciones, 3 baños, calefacción por gas y aire acondicionado. Teniendo una media de 3 personas en cada casa.



Figura 3. Vivienda en la urbanización San Isidro

Habrá que tener en cuenta la potencia eléctrica de cada electrodoméstico (Potencia x tiempo de uso = Energía). A partir de datos sobre la demanda eléctrica de una vivienda recogidos por Red Eléctrica Española se puede hacer la siguiente estimación teniendo en cuenta solo electrodomésticos:

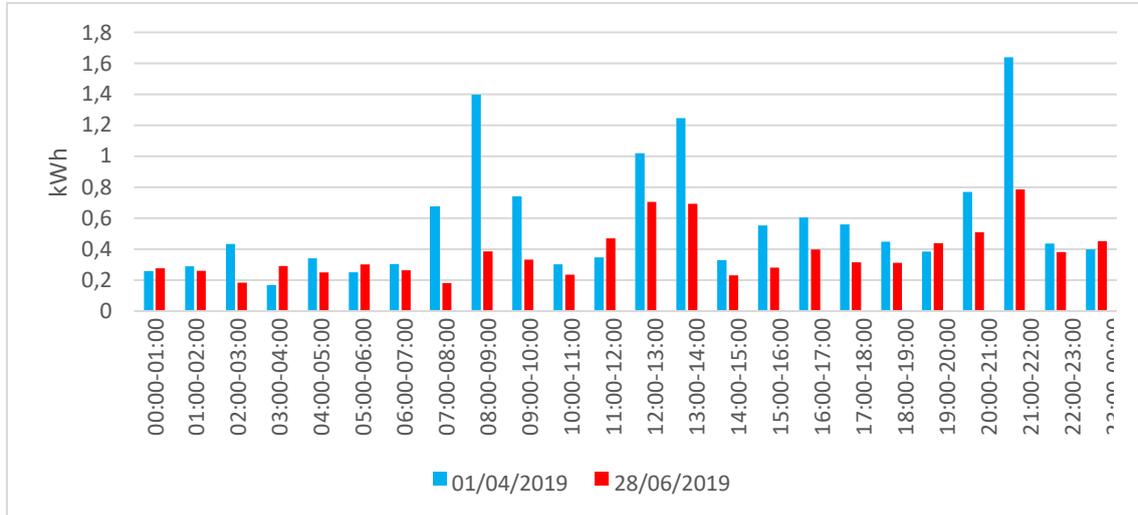
Aparato	Potencia (kW)	Tiempo aprox. De uso (h/mes)	Consumo kWh mensual aprox. (kWh)
Aire acondicionado	1,3	120	156
Horno eléctrico	1,2	120	144
Vitrocerámica	4,5	60	270
Lavadora	1	30	30
Lavavajillas	1,05	30	31,5
Nevera	0,89	720	640,8
Televisión	0,5	240	120
Ordenador portátil	0,6	150	9
Ordenador (sobremesa)	0,4	150	60

Tabla 1. Consumo mensual aproximado de los electrodomésticos en una casa.

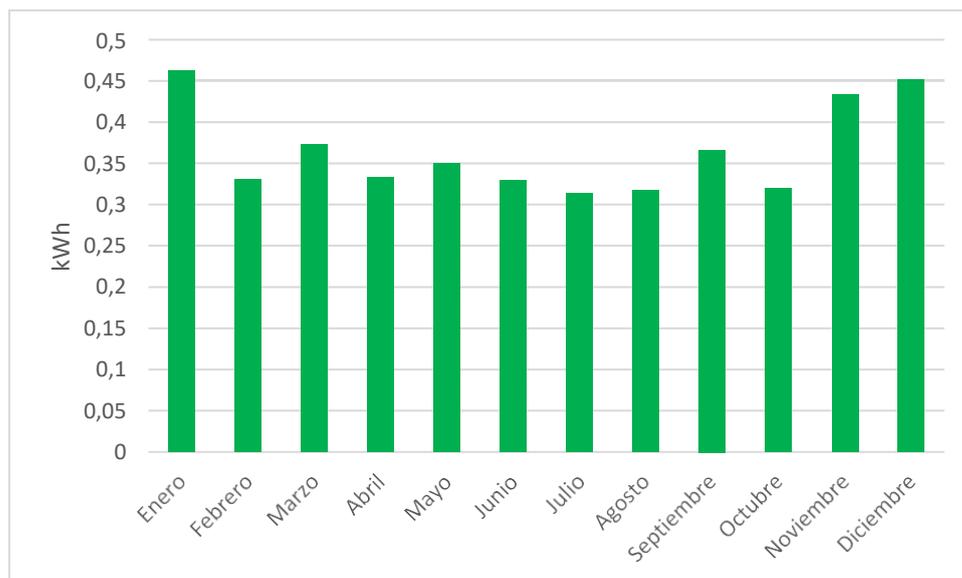
Una de las casas ha compartido sus datos en cuanto a su consumo eléctrico de manera que podemos estimar la demanda necesaria a partir de ellos, siendo estos datos más reales que la estimación que podemos hacer. En la gráfica 1, se puede apreciar la diferencia de consumo entre un día de verano (rojo) y otro de invierno (azul). El consumo energético es mayor durante los

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)

días de invierno siendo la media aproximada de 0,58 kW durante el verano y de 0,4 kW durante el invierno. También se observa que, sobre todo en invierno, que las horas pico corresponden con el desayuno, comida y cena. A partir de los datos de cada día del año, se obtiene la gráfica 2, obteniendo así el consumo en cada mes. En cuanto al consumo energético anual, se estima que una vivienda de estas características consume alrededor de 3200 kWh/año.



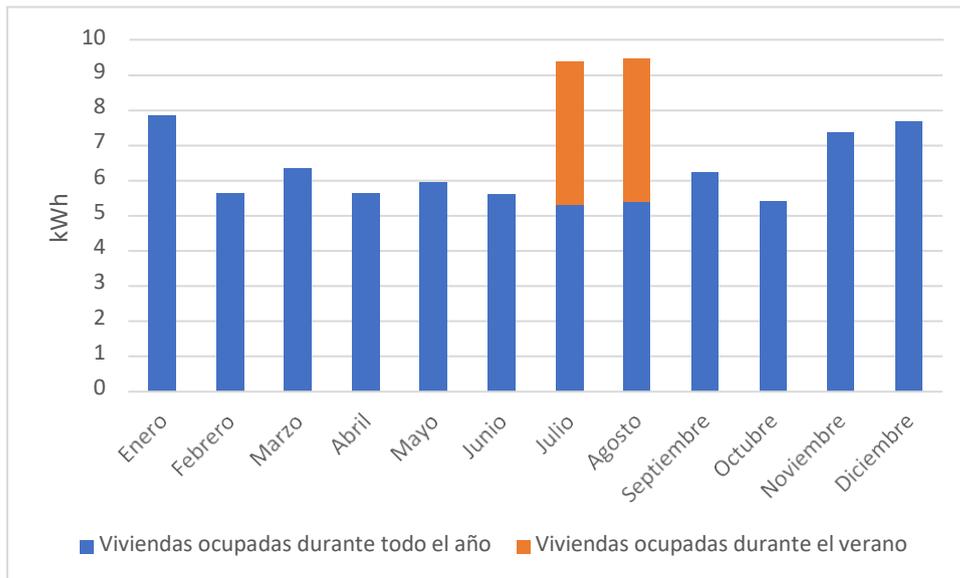
Gráfica 1. Consumo eléctrico en una vivienda por horas durante un día



Gráfica 2. Demanda eléctrica de la vivienda estudiada por mes

De estas 30 viviendas, 17 de ellas están ocupadas durante todo el año mientras que 13 son residencias de verano, por lo que solo están ocupadas durante los meses de julio y agosto. Por ello, para estimar la demanda eléctrica debemos diferenciar entre estos dos casos. En la gráfica 3 se puede ver la demanda eléctrica final por mes.

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)



Gráfica 3. Demanda eléctrica final

Entonces, la demanda sería de 54355 kWh/año de las viviendas ocupadas durante todo el año y de 6040kWh/año para las residencias de verano. En conjunto, se estima que la demanda del conjunto de viviendas es de aproximadamente 60394,414 kWh/año.

Teniendo así una media de 165 kWh/d; una potencia media de 7 kW y una pico de 58,1 kW. El factor de carga es del 11.9%, medida que hace referencia a la eficiencia del uso de electricidad.

3.3 CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO RENOVABLE DISPONIBLE

Este apartado se centrará en cada uno de los recursos renovables disponibles en la zona para poder obtener esta energía.

3.3.1 Recurso solar

Ésta es una de las zonas con mayor irradiación media del país siendo la media de 4,434 kWh/m²/d, esta fuente de energía es sin duda la que más potencial tiene.

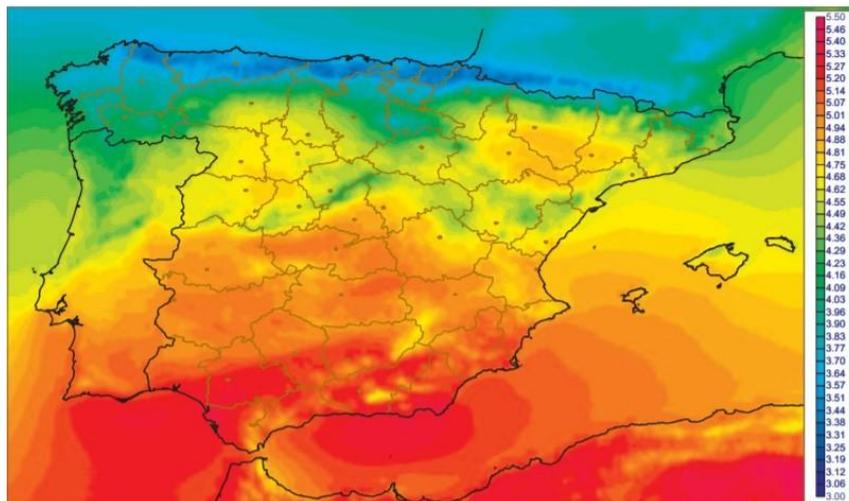
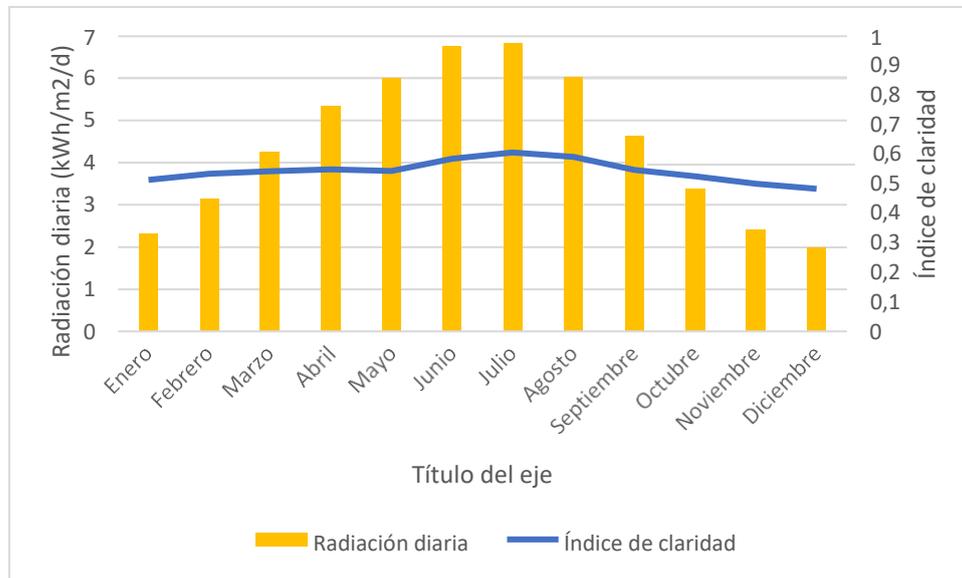


Figura 4. Irradiancia Global media [1983-2005] (kWh m⁻² d⁻¹) SIS (CM-SAF)

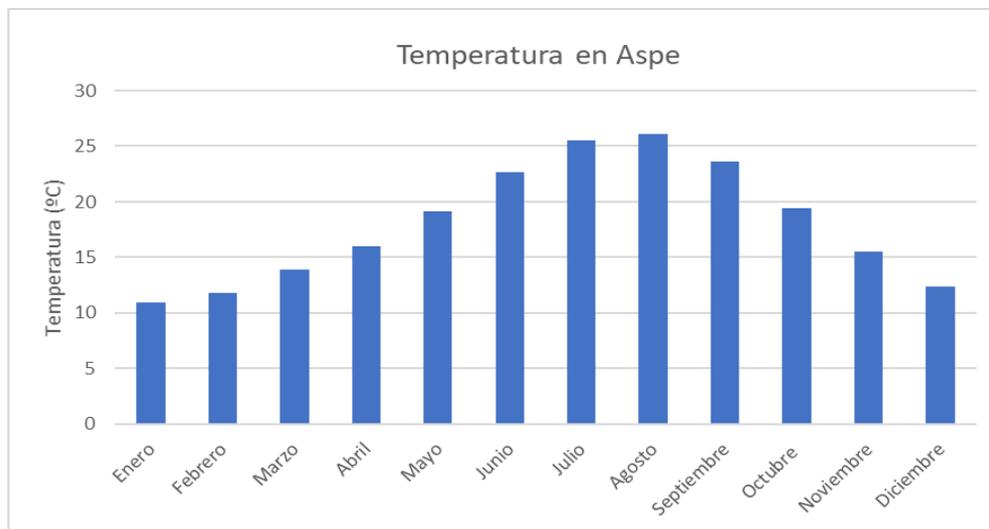
Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)

En la gráfica 4 se puede apreciar la cantidad de irradiancia que alcanza durante el año alcanzando su pico de casi 7 kWh/m²/d en los meses de verano. Además, se representa el índice de claridad, el cual se mantiene constante durante todo el año con un valor medio de 0,554. (ec.europa.eu, 2020)



Gráfica 4. Radiación diaria e índice de claridad

Otro aspecto para tener en cuenta es la temperatura, ya que ésta afectará a las placas solares. Por ello, se deberá introducir en HOMER la temperatura media de cada mes en Aspe (aemet.es, 2020).



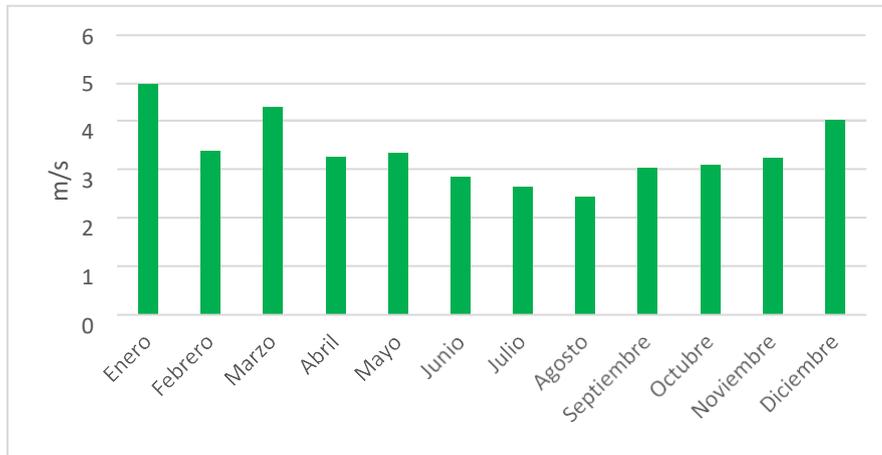
Gráfica 5. Temperatura media en Aspe.

3.3.2 Recurso eólico

La estación meteorológica más cercana se encuentra en Novelda, a 5 km de la urbanización. Esta información es similar en Aspe dado la cercanía entre ambas. La velocidad promedio del viento por hora en Novelda tiene variaciones estacionales leves en el transcurso del año.

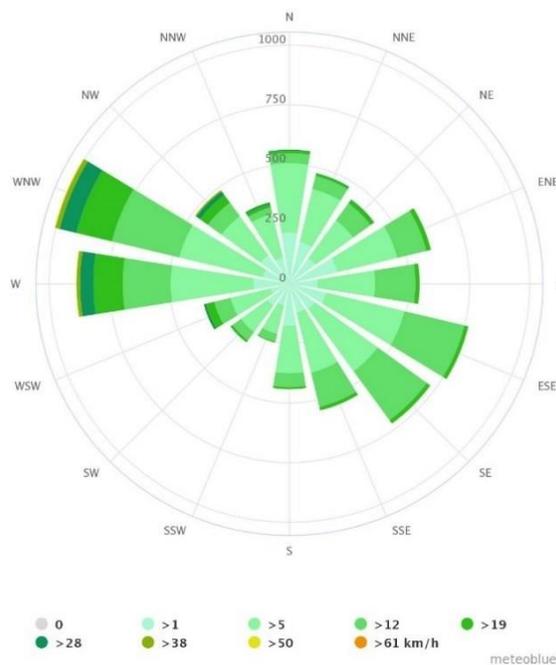
Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)

En la gráfica 5, se puede ver que el mes con más viento del año corresponde con el mes de enero con una velocidad media de 4,40 m/s. Por otra parte, la velocidad media en todo el año es de 3,81 m/s según AEMET en el año 2019. (meteoblue.com, 2020) (aemet.es, 2020).



Gráfica 6. Velocidad media del viento por mes

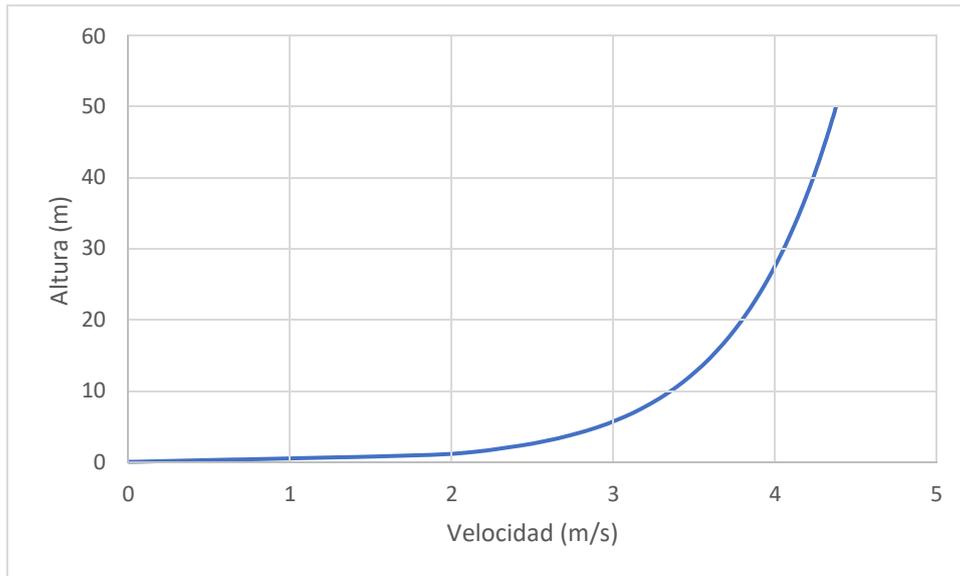
Para poder obtener datos sobre las distribuciones de la velocidad del viento y la frecuencia del viento en cada dirección, puede utilizarse la rosa de los vientos. Esta información está representada en la gráfica 6 donde podemos ver que la dirección principal del viento es WNW.



Gráfica 7. Rosa de los vientos. Fuente: MeteoBlue.

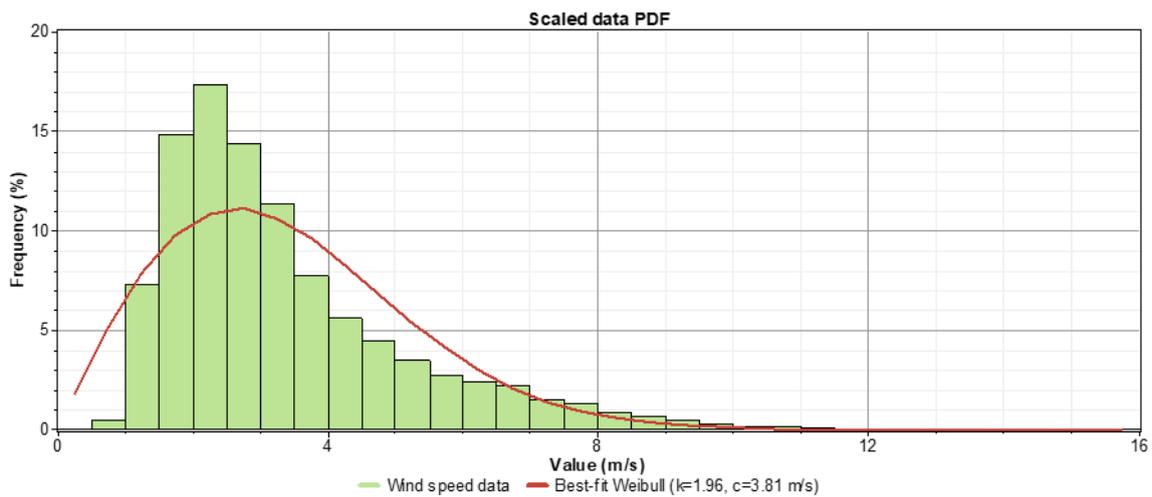
Al ser un terreno en el que encontramos principalmente cultivos, podríamos ajustar la rugosidad del terreno al valor 0,05 obteniendo así el perfil logarítmico del gráfico 7 donde se puede ver la relación entre la velocidad del viento y la altura sobre el suelo.

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)



Gráfica 8. Variación del viento con la altura

En la gráfica 8, obtenida en HOMER, se representa la distribución temporal de velocidades del viento, la cual se representa mediante la función de distribución estadística de Weibull.



Gráfica 9. Histograma de velocidad del viento. Fuente: HOMER

La distribución de Weibull queda definida a partir de dos parámetros, el factor de escala $c=3,81$ en nuestro caso (expresado en m/s, se relaciona con la velocidad media del viento) y el factor de forma $k=1,96$ (el factor de forma es adimensional y con él se modifica la simetría de la distribución). Con estos valores se puede conocer la frecuencia de una velocidad determinada del viento, definida por la ecuación (1) (www.sc.ehu.es, 2020):

$$p(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (1)$$

Para definir el factor de escala y el factor de forma se utiliza el ajuste de mínimos, ecuación (2):

$$p_i(v \leq v_i) = 1 - e^{-\left(\frac{v_i}{c}\right)^k} \quad (2)$$

Esto se logra utilizando el método de regresión lineal, que relaciona las variables, de manera que queda definida mediante las ecuaciones (3), (4), (5) y (6).

$$y_i = \text{Ln}[-\text{Ln}(1 - p_i)] \quad (3)$$

$$x_i = \text{Ln}(v_i) \quad (4)$$

$$a = -k \text{Ln}(c) \quad (5)$$

$$b = k \quad (6)$$

Estos valores se obtienen mediante conociendo datos registrados sobre la velocidad del viento por la estación de Novelda. Obteniendo así los valores c y k a partir de estas fórmulas.

3.3.3 Biomasa

El uso de biomasa está cada vez más extendido en la región, teniendo varios antecedentes. Por ejemplo, en la fábrica de Insa Turbo en Aspe su usa biomasa, la cual se quema y genera calor. Este calor es útil para el correcto funcionamiento de la empresa, siendo esta forma de generar energía más (energias-renovables.com, 2014). Además, también se inauguró en 2011 la primera planta de producción de biomasa en Crevillente (Mundo, 2011).

Aparte, de las numerosas plantas de biomasa y biogás en la provincia, hay que destacar E.D.A.R. de Novelda y Elche dada su cercanía. Estas estaciones depuradoras de aguas residuales también producen biogás, alcanzando una producción de energía eléctrica anual de 887 kW según Jornada de sostenibilidad agroforestal valenciana (Joaquín P. Mas Belso, AVEN-IVACE, 2013). Como podemos apreciar en la gráfica 9, esta forma de energía ya está instalada en España, vendiendo una cifra aproximada de 5774 GWh.



Gráfica 10. Biomasa, evolución de la potencia instalada y energía vendida en España. Fuente: CNMC y elaboración APPA Renovables.

Teniendo en cuenta estos antecedentes y las numerosas empresas en la provincia, nos centraremos en los generadores eléctricos de biomasa. Podemos distinguir dos tipos según el proceso utilizado para obtener electricidad:

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)

Gasificación	Combustión
Mediante la gasificación se utiliza biomasa para obtener biogás que se usará para generar energía eléctrica en un motor.	En este proceso se quema la biomasa directamente en vez de hacerlo a partir de biogás.

Tabla 2. Tipos de procesos para la obtención de energía eléctrica con biomasa

Una opción es la gasificación, para lo que será necesario el uso de un gasificador.

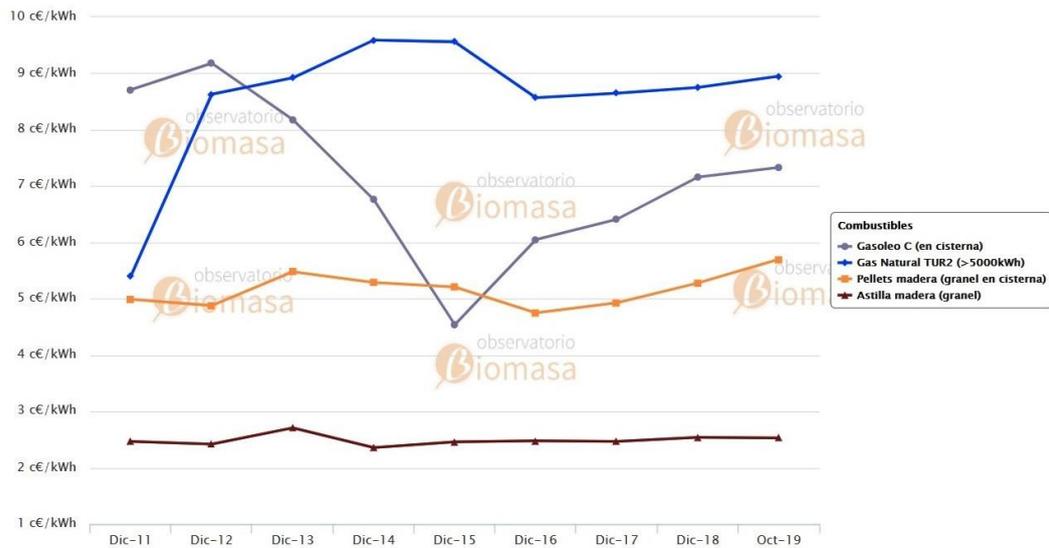
Existen distintos tipos de biocombustibles que pueden ser usados. En la tabla 1 tenemos algunos ejemplos, así como su poder calorífico y su humedad. El poder calorífico de este tipo de biocombustibles es bastante menor que el de otros combustibles fósiles, los cuales tienen un poder calorífico mayor (tecnosolab.com, s.f.).

Combustible	Poder calorífico inferior (PCI) kJ/Kg kWh/kg		Humedad (%)	
Pélets	17.000-19.000	4,7-5,3	< 15	
Astillas	10.000-16.000	2,8-4,4	40	
Hueso de aceituna	18.000-19.000	5,0-5,3	7-12	
Cáscara de almendra	16.000-19.000	4,4-5,3	8-15	
Leña	14.400-16.200	4,0-4,5	< 20	
Briquetas	17.000-19.000	4,7-5,3	< 20	

Tabla 3. Tipos de biocombustibles sólidos

Por otra parte, el precio de este tipo de combustibles es bastante menor, como podemos ver en la gráfica 10. Por ejemplo, el precio actual de los pellets es de 0,045€/kWh (226 €/tn). Sin embargo, el precio anterior no tiene en cuenta algunos aspectos como el transporte e impuestos. Teniéndolos en cuenta se puede estimar que el precio aumenta ligeramente alcanzando un precio medio de 0,06 €/kWh (271 €/tn).

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)



Gráfica 11. Evolución anual del precio de la energía al consumidor en el año 2019. Fuente: Eurostat, IDAE

3.3.4 Recurso hidráulico

La energía hidráulica se puede obtener mediante el uso de la fuerza del agua o a partir de un salto de agua. Posteriormente, esta energía potencial y cinética se transforma en energía mecánica gracias a una turbina, permitiendo utilizar esta energía mecánica para generar electricidad.

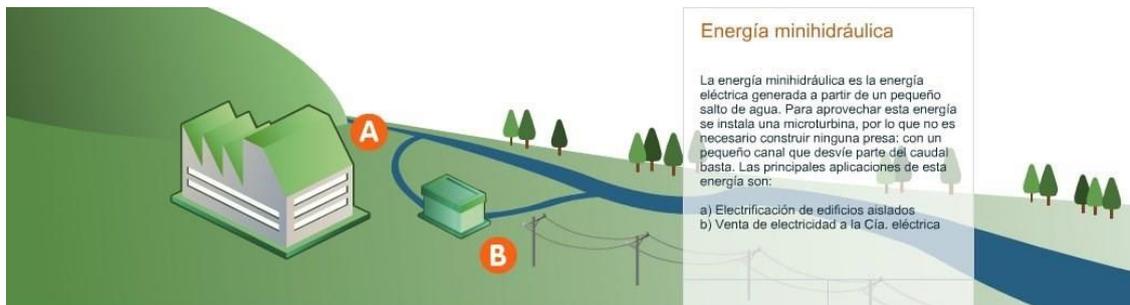
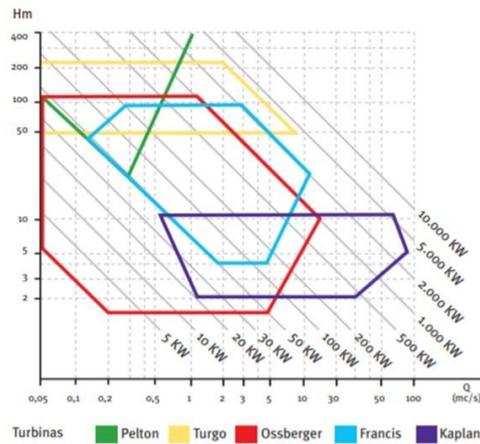


Figura 5. Esquema de una central minihidráulica

Cuando el caudal y el desnivel sean suficientes para obtener energía, se pueden instalar turbinas y generadores que permiten aprovechar esta energía. Existen turbinas de baja potencia que pueden funcionar con muy poca altura o con muy poco caudal, obteniendo una potencia inferior a 5000W. Para instalaciones de estas características son recomendables las turbinas Ossberger, como se puede ver en la gráfica 12.

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)



Gráfica 12. Campo de utilización de los diferentes tipos de turbinas. Fuente: IDAE. Minicentrales hidroeléctricas

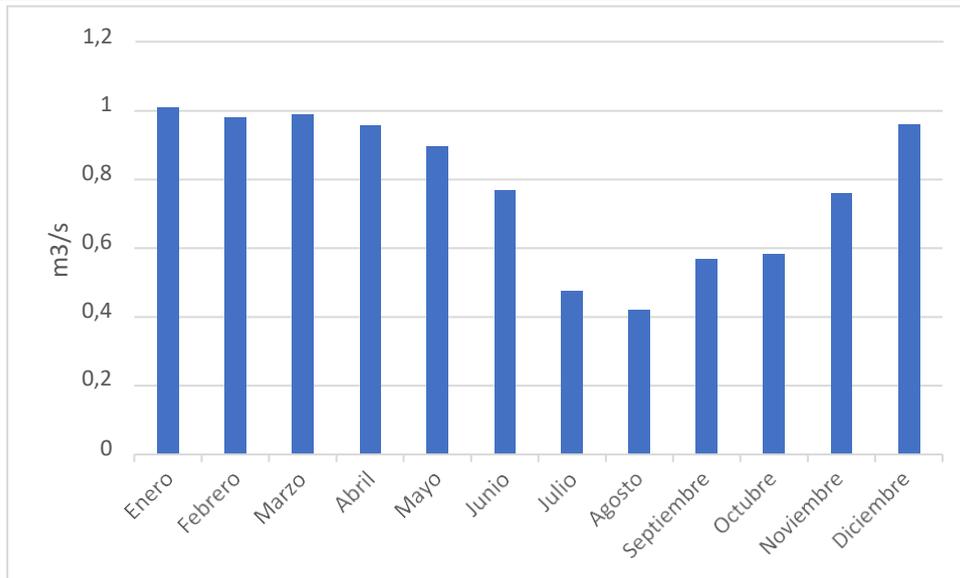
A 15 km de la urbanización pasa el río Vinalopó. Una opción sería el aprovechamiento de este caudal mediante el uso de turbinas de baja potencia. En la siguiente figura, se puede ver su recorrido en la provincia de Alicante, así como una imagen a su paso por Novelda, zona más cercana a la urbanización.



Figura 6. Recorrido del río Vinalopó (izquierda) e imagen a su paso por Novelda (derecha).

En la gráfica 11, podemos ver el caudal medio por mes, el cual se acerca a 1 m³/s en los meses de invierno bajando a casi 0,4 m³/s en verano (ceh.cedex.es, 2020).

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)



Gráfica 13. Caudales medios mensuales del río Vinalopó. Fuente: Anuario de aforos CEDEX

3.3.5 Energía geotérmica

La geotermia es la energía obtenida aprovechando la temperatura interior de la superficie terrestre que en Alicante supera los 15°C a partir de 5 metros de profundidad. Se trata de una energía rentable y renovable que permite reducir las emisiones de gases contaminantes, ofreciendo un gran ahorro de energía.

Dentro de este tipo de energía, pueden establecerse dos tipos principales de aplicaciones:

Producción de electricidad	Usos directos de calor
Recursos geotérmicos de alta y media entalpía (superior a 150 °C)	Recursos geotérmicos de baja y muy baja entalpía (por debajo de 50 °C)

Tabla 4. Aplicaciones de la energía geotérmica

En la producción de energía, existen distintas formas de obtenerla a partir de la geotermia. Las principales plantas son las plantas de vapor seco, plantas flash y plantas de ciclo binario.

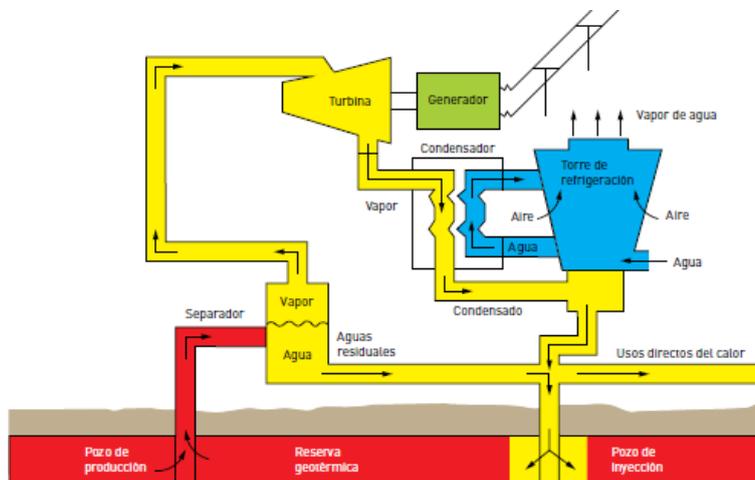


Figura 7. Esquema de funcionamiento de planta flash

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)

En 2014, el Instituto Geológico y Minero de España (Igem) llevó a cabo un estudio para analizar la energía geotérmica en la provincia. De esta forma se permite evaluar el potencial de la zona, exponiendo así las posibilidades de aprovechar esta energía almacenada en la corteza terrestre en forma de calor (elperiodicodelaenergia.com, 2016).

La provincia no destaca por tener yacimientos geotérmicos con temperaturas muy elevadas, pero existen zonas de media y baja temperatura. Las zonas con mayor potencial con temperaturas muy elevadas son la Vega Baja del Segura y en la cuenca alta del río Serpis. Mientras que las de media y baja temperatura se encuentran en la cuenca alta del Vinalopó y el área de Xixona-Busot. En las figuras 9 y 10 podemos ver los mapas en los que se sitúan las principales zonas donde se podría utilizar esta energía en España.

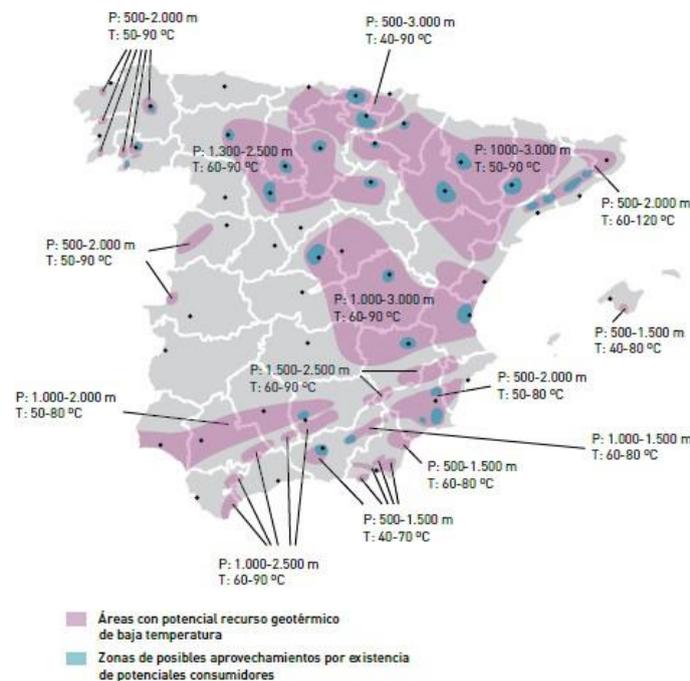


Figura 8. Mapa recursos geotérmicos de baja temperatura en España. Fuente: IDAE. Evaluación del potencial de energía geotérmica.

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)

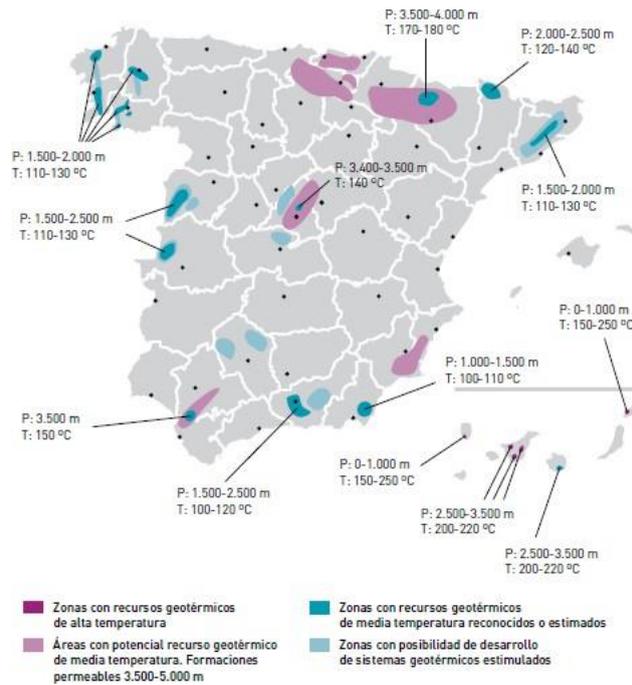


Figura 9. Mapa de recursos geotérmicos de media y alta temperatura en España. Fuente: IDAE. Evaluación del potencial de energía geotérmica.

Sin embargo, la energía eléctrica se puede conseguir a partir de recursos geotérmicos de alta y media temperatura los cuales encontramos en la provincia, pero no en Aspe, donde son más abundantes los recursos de baja temperatura. En la figura 10, podemos ver el potencial del aprovechamiento térmico en la Comunidad Valenciana, el cual puede ser aprovechado mediante bombas de calor.

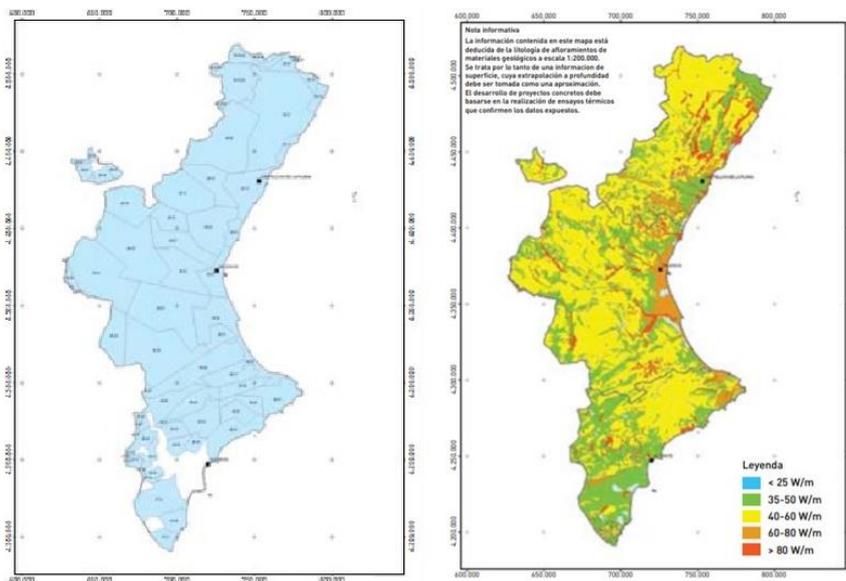


Figura 10. Mapa de situación de acuíferos para aprovechamiento térmico por bomba de calor (derecha) y mapa de potencia térmica superficial (izquierda) en la Comunidad Valenciana. Fuente: IDAE. Evaluación del potencial de energía geotérmica.

CAPÍTULO 4. TECNOLOGÍAS DISPONIBLES

Una vez analizado el potencial renovable de la zona, se decide en vista de los datos obtenidos que las dos fuentes de energía que mayor potencial tienen son la energía eólica y fotovoltaica, dado principalmente las condiciones meteorológicas de la zona, así como la tecnología disponible actualmente.

En relación con la biomasa, se estudiará el uso de gasificadores de biomasa en el sistema híbrido no conectado a red debido a que en este tipo de generación de electricidad nos permitirá reducir el número de baterías necesarias.

Rechazamos el recurso hidrológico, debido a su poco aprovechamiento para la generación de electricidad en esta zona, siendo su uso principal el riego extendido. Además de la localización del río Vinalopó, situado a una distancia considerable.

Por otra parte, la energía geotérmica se trata de una opción poco implantada en la zona y con una gran incertidumbre en cuanto a su viabilidad en Aspe ya que no es una de las zonas con mayor potencial para la obtención de electricidad dentro de la provincia, siendo más viable su uso como bombas de calor, a parte de las dimensiones y la infraestructura de una planta de este tipo. Es por ello por lo que esta fuente de energía se descarta.

Entonces, en este apartado, se explicará la tecnología disponible actualmente de los recursos que utilizaremos en nuestra instalación, así como otros elementos utilizados que serán utilizados, como baterías, inversores, sistemas de hidrógeno y la red eléctrica.

4.1 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Para conocer esta energía es necesario explicar el efecto fotovoltaico. En este efecto se desprenden electrones de determinados materiales semiconductores gracias a la luz, consiguiendo así su transformación en electricidad, tal y como se observa en el esquema de la figura 11.

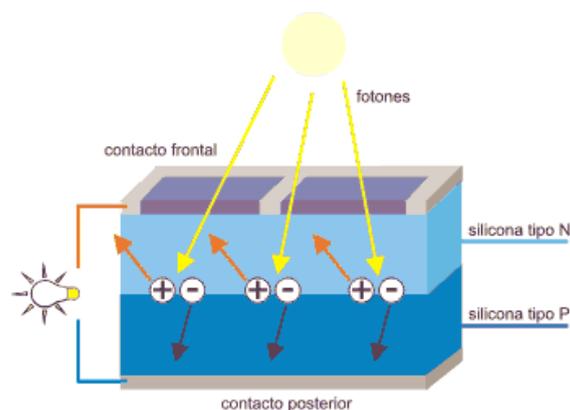


Figura 11. Esquema efecto fotovoltaico

El efecto fotovoltaico permite que cada célula solar fotovoltaica funcione de forma similar a una pila, de manera que al incidir sobre ella la luz del sol se genere una tensión de unos 600 mV. Mediante la disposición en serie o paralelo de varias células, se puede obtener un módulo solar fotovoltaico con la tensión y corriente deseadas.



Figura 12. Célula fotovoltaica

Estas células solares se fabrican principalmente de silicio ya que es el material más adecuado ya que nos permite obtener la eficiencia de conversión. Así se distinguen 3 tipos de células solares de silicio:

- **Monocrystalino:** Son las más comunes hoy en día, con rendimientos altos comparando con el resto y buena relación potencia-superficie.
- **Policristalino:** Rendimiento algo menor que las monocristalinas, pero un poco más baratas.
- **Amorfo:** Son más económicas, pero el rendimiento es el menor de los tres tipos disponibles actualmente.

Módulo solar fotovoltaico

Las células fotovoltaicas que trabajan en solitario no son de gran utilidad ya que la tensión producida es muy pequeña. Sin embargo, es posible unir estas células en serie, normalmente 36 o 72, de manera que se pueden conseguir tensiones más aptas (12-48 V) para las aplicaciones que se les darán posteriormente. Esto es posible conectando varias células formando así un circuito eléctrico con varias de estas células unidas en serie, de la misma forma en que aparecen representadas en la figura 13. Estas células conectadas en serie forman submódulos, los cuales se agrupan en paralelo.

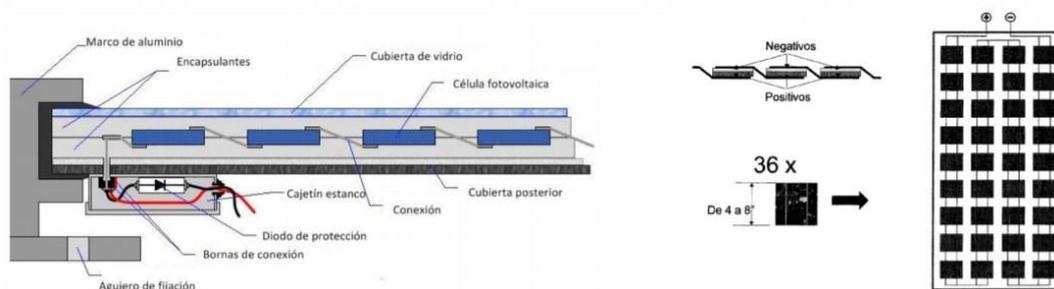
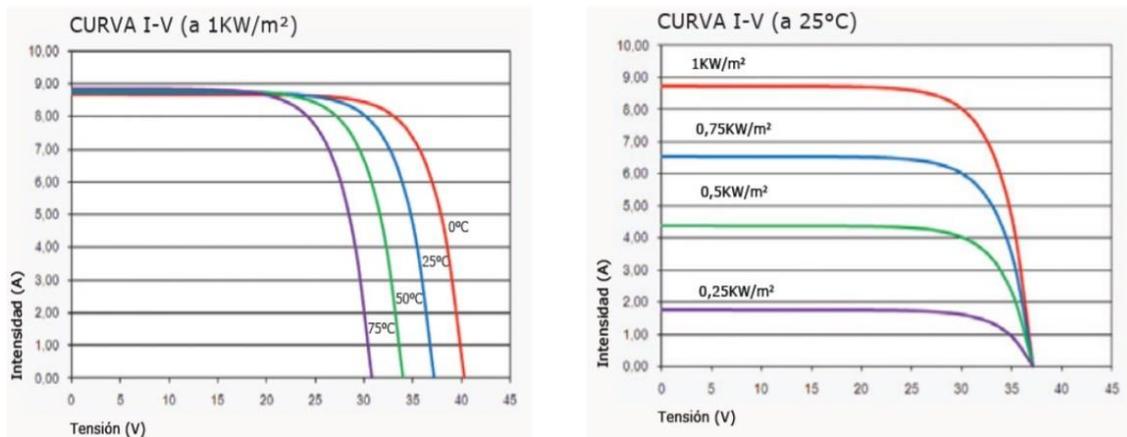


Figura 13. Estructura módulo solar fotovoltaico

Curva de corriente-tensión

Las informaciones sobre los módulos se muestran por los fabricantes. Esta información se obtiene aplicando unas Condiciones Estándar de Medida (CEM) de irradiancia y temperatura a los módulos fotovoltaicos. Algunas de estas condiciones son la irradiancia solar alrededor de los 1000 W/m² y una temperatura cercana a los 25 °C.

Sin embargo, los datos de funcionamiento real de los módulos fotovoltaicos son diferentes a las CEM. En las curvas características de la gráfica 14 se observa que la intensidad aumenta al aumentar la radiación. Por otra parte, la tensión disminuye al aumentar la temperatura en las células solares.



Gráfica 14. Curvas I-V en función de temperatura y radiación

Para poder entender la curva de intensidad I-V y potencia de la figura 7 es necesario introducir una serie de definiciones:

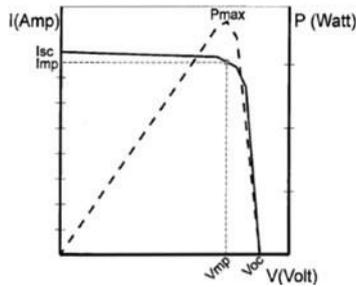
- **Potencia máxima:** Máxima potencia que se puede extraer. Es la multiplicación entre la tensión y la intensidad.
- **Tensión en circuito abierto:** Voltaje que se obtendría en el caso de tener un circuito abierto.
- **Intensidad de cortocircuito:** Intensidad obtenida cuando la tensión de salida es 0 voltios.
- **Tensión en el punto de máxima potencia:** Suele ser el 80% de la de vacío.
- **Intensidad de corriente máxima:** Intensidad en el punto de máxima potencia.
- **Factor de forma:** Valor adimensional que nos informa sobre de la calidad de la unión y de las resistencias internas de la célula.

$$FF = \frac{V_{mp} \cdot I_{mp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}}$$

- **Rendimiento energético:** Cociente entre la potencia eléctrica que se puede obtener y la potencia de radiación incidente sobre el dispositivo.

$$\eta = \frac{P_{max}}{PL} = \frac{FF \cdot V_{oc} \cdot I_{sc}}{PL}$$

Se debe intentar que el módulo fotovoltaico trabaje en el punto de máxima potencia, representado en la gráfica 15, para obtener el mejor rendimiento posible.



Gráfica 15. Curva I-V de un módulo fotovoltaico

Podemos distinguir los sistemas conectados a red (los sistemas conectados en red no necesitan de un sistema de almacenamiento, siendo necesario cumplir con todos los requisitos de la compañía eléctrica para la conexión a red) y sistemas aislados (en estos sistemas no hay conexión a red y por lo tanto es necesario un sistema de almacenamiento como baterías o en forma de hidrógeno).

4.2 ENERGÍA EÓLICA

La energía del viento es aprovechada por las palas del aerogenerador, frenando el viento que trata de cruzar por ellas, capturando así su energía cinética y convirtiéndola en mecánica.

En esta tecnología se debe definir la relación entre la potencia almacenada en el viento y la potencia que se puede extraer del viento a través del aerogenerador. La potencia del viento se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$P_w = 0.5 \cdot \rho \cdot S \cdot v^3$$

A continuación, se explican cada uno de los términos de esta fórmula:

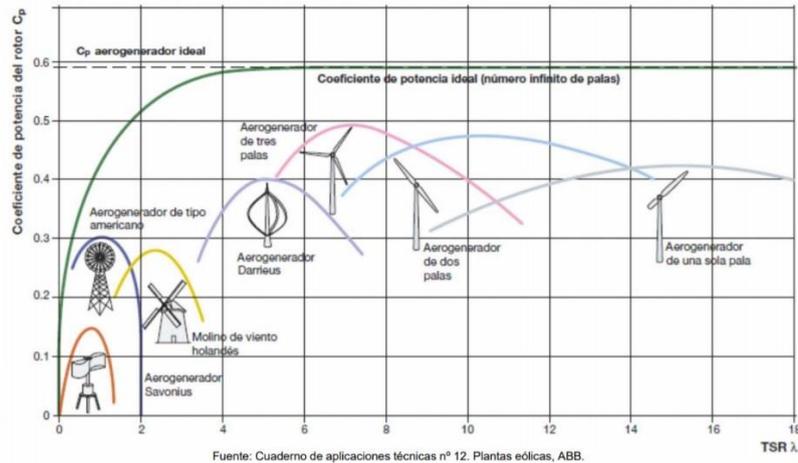
- P_w : potencia del viento (W).
- ρ : densidad del aire (kg/m^3).
- S : área barrida por el rotor (m^2).
- v : velocidad del viento (m/s).

Sin embargo, un aerogenerador no puede extraer toda esta energía, sino que solo se extrae una parte de ella. Por ello se define la siguiente relación que permite determinar qué parte de la energía almacenada en el viento se puede obtener mediante el aerogenerador. En este caso, en el que se usará un generador eólico de eje horizontal, este coeficiente tiene un valor de 0,59, como se ve en la gráfica 16. Este rendimiento se describe con un coeficiente de potencia (CP), relación entre la potencia aprovechada y la disponible del viento:

$$C_p = \frac{P_o}{P_w}$$

Donde:

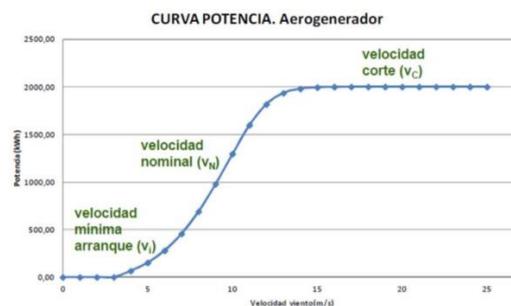
- P_o : potencia mecánica extraída por el aerogenerador (W).
- P_w : potencia almacenada en el viento (W).



Gráfica 16. Coeficientes de potencia

Una vez conocida esta fórmula se puede determinar la curva de potencia definida en la gráfica 17. En esta gráfica hay que definir una serie de parámetros que serán de gran utilidad para comprenderlo:

- **Velocidad mínima de arranque:** velocidad mínima del viento para que el aerogenerador funcione.
- **Velocidad nominal:** velocidad del viento para la que se alcanza la potencia nominal.
- **Velocidad de corte:** velocidad del viento a partir de la cual ya no se genera más energía, alcanzando el límite de potencia que puedes extraer con el aerogenerador.



Gráfica 17. Curva de potencia

Dependiendo de la posición del eje de giro, los aerogeneradores pueden ser de eje horizontal o de eje vertical.

4.3 BATERÍAS

La batería se encarga de almacenar energía en forma electroquímica (www2.elo.utfsm.cl, 2020). Una batería es una celda electroquímica (Figura 10). Como se ve en la figura, tiene dos electrodos: el ánodo (donde se produce la oxidación) y el cátodo (donde se realiza la reducción), hechos en cualquier material que sea un conductor eléctrico.

Estas disoluciones están unidas con un puente salino. El K^+ va hacia el cátodo y Cl^- hacia el ánodo para que las disoluciones se neutralicen. La corriente eléctrica va del ánodo al cátodo por la diferencia de potencial eléctrico entre ambos electrodos.

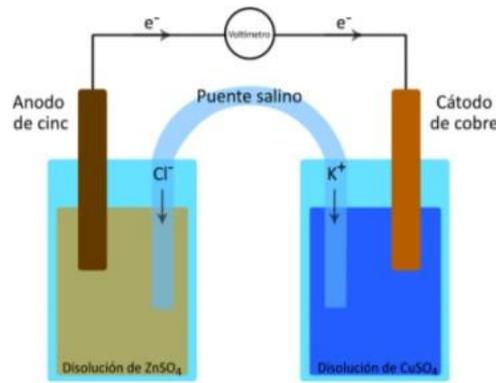


Figura 14. Celda electroquímica

Existen distintos tipos de baterías, por ejemplo: plomo-ácido (son las baterías más económicas, pero se desgastan más rápido), níquel-cadmio (un excelente ciclo de vida, aunque su coste es elevado), plata-cadmio (buena relación energía/peso y larga duración, pero funcionan mal a baja temperatura), y zinc-óxido de plata (alto cociente de energía/peso, aunque su ciclo de vida útil es corto).

4.4 INVERSOR

La principal función del inversor es transformar la corriente continua en alterna. Existen distintos tipos de inversores según sea nuestra instalación. (www.mpptsolar.com, 2020) (www.areatecnologia.com, 2020).



Figura 15. Inversor. Fuente: www.areatecnologia.com

Los inversores pueden estar diseñados para sistemas aislados donde no es necesaria la conexión a la red o aquellos donde sí deben tener la tecnología necesaria para permitir cargar las baterías correctamente. Sin embargo, hoy en día existen inversores híbridos capaces de funcionar perfectamente en instalaciones con conexión a red o en instalaciones aisladas.

4.5 RED ELÉCTRICA

Una vez generada la electricidad, ésta debe ser distribuida a los consumidores. La red de instalaciones de transmisión y distribución se llama red eléctrica (twenergy.com, 2020)

La electricidad se transmite a un voltaje muy alto sobre las líneas eléctricas. Cuanto mayor sea el voltaje, menor pérdida de electricidad habrá. Cuando la electricidad llega a las ciudades, los transformadores convierten la electricidad de alto voltaje a una tensión más baja.

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)

Cuando se utiliza la electricidad en viviendas, negocios, etc., se extrae de la red eléctrica. Hay horas punta de demanda, principalmente por la noche. El flujo de energía debe estar equilibrado para proporcionar la cantidad correcta de electricidad a los clientes.



Figura 16. Red eléctrica

Existen varios tipos de red eléctrica según la función que tengan. En la figura 16 podemos distinguir:

- **Centrales de generación.** Centrales hidráulicas, ciclo combinado, etc.
- **La red de transporte.** Red de transporte de 220 kV y 400 kV
- **Las subestaciones de transformación.** Se encargan de reducir la tensión
- **Red De Distribución.** Esta red distribuye esta energía en los núcleos de población.

Entonces, una de las opciones para abastecer la demanda de la urbanización sería conectarse a la red eléctrica. En este caso, la red funcionaría de manera similar a las baterías: cuando se produce más energía de la necesaria, el exceso se inyectará a la red y de manera contrario cuando haya déficit de energía.

4.6 GASIFICADOR DE MADERA NATURAL

Un generador de gas de biomasa es un gasificador que convierte la biomasa en biogás, que puede usarse para alimentar un motor de combustión (upcommons.upc.edu, 2020).

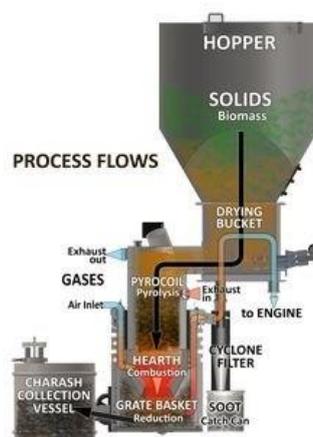


Figura 17. Ejemplo de gasificador de biomasa.

La gasificación de biomasa consiste en biomasa que ingresa a un gasificador para producir biogás. La biomasa que se puede usar se divide en cuatro categorías:

- Los residuos agrícolas, como trigo, alfalfa, frijol o cebada, paja y rastrojo de maíz, etc.
- Los cultivos energéticos.
- Los residuos forestales.
- Los residuos urbanos de madera se refieren a los residuos de construcción y escombros de demolición.

La elección de la biomasa se determina el diseño del gasificador. Existen tres diseños posibles:

- **Corriente ascendente.** En un gasificador de corriente ascendente, la materia prima entra a la cámara de gasificación desde arriba y cae en una rejilla. El aire entra por debajo y fluye hacia arriba. El biogás sale de la parte superior de la cámara.
- **Corriente descendente y corriente cruzada.** En los gasificadores de corriente descendente, el aire y el biogás pueden entrar y salir de diferentes sitios.

4.7 SISTEMA DE HIDRÓGENO

El hidrógeno es un elemento básico y muy común en el universo. Por esta razón, es una fuente de energía interesante porque genera mucha energía cuando combustiona. Puede usarse en motores de combustión o en pilas de combustible. De esta manera, se puede generar electricidad a partir de esa reacción electroquímica.

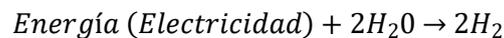
Estos sistemas están formados por los siguientes elementos:

4.7.1 Electrolizador

El proceso para generar hidrógeno y oxígeno a partir del agua se llama electrólisis. Durante este proceso se separan el hidrógeno y el oxígeno del agua usando electricidad.

Se trata de un proceso limpio y seguro, siempre que la electricidad necesaria para el proceso proceda de energías renovables, de manera que no se producirán emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, como es en nuestro caso (www.ariema.com, 2020) (bibing.us.es, 2020).

En la figura 18 se representa un esquema del electrolizador. Para ello es necesario usar una corriente eléctrica circulando por dos electrodos. La ecuación química que se reproduce es la siguiente:



De esta forma se separan los componentes del agua. Al trabajar con oxígeno, será necesario usar materiales anticorrosivos en el ánodo. Como se ha comentado antes, es necesario importante añadir la fuente de tensión además de todos los elementos de seguridad necesarios como

pueden ser bombas para permitir la circulación de agua, sistemas para almacenar los productos, etc.

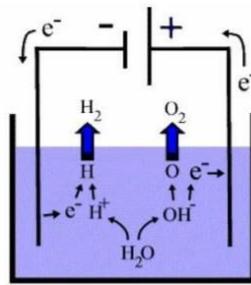


Figura 18. Esquema de proceso de un electrolizador.

Hoy en día, hay dos tipos principales de electrolizadores. Estos son:

- **Electrolizadores de alcalino líquido:** Bueno para la producción a gran escala gracias a su fiabilidad. En los electrolizadores alcalinos se utiliza un electrolito líquido, alcanzando una eficiencia del 80 %.
- **Electrolizadores de membrana polimérica (PEM):** Son, a largo plazo, la mejor opción. En este caso son mejores para producciones de media escala.

4.7.2 Pila de combustible

Una pila de combustible permite transformar la energía química en eléctrica, en un proceso contrario al electrolizador. En este proceso se usa hidrógeno y oxígeno para producir agua y electricidad en corriente continua y calor (www.cnh2.es, 2020).

Como se muestra en la figura 19, la pila se divide en los electrodos (ánodo y cátodo), electrolito y placas bipolares. Las reacciones que ocurren en los electrodos son:

- $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$ en el ánodo.
- $\frac{1}{2} O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$ en el cátodo.

En este caso la reacción global de la pila de combustible sería $H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$.

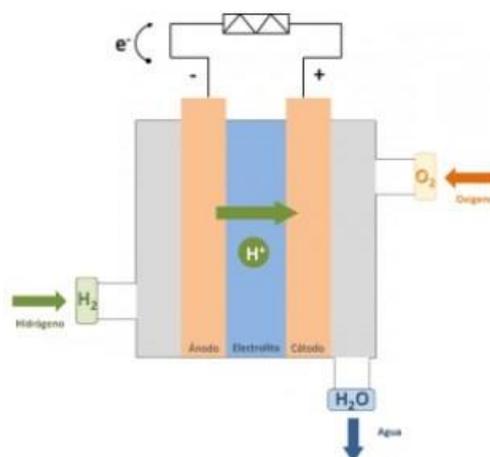


Figura 19. Pila de combustible de hidrógeno.

Hay diferentes tipos de pilas de combustible que se comentan en la tabla 5, según el electrolito utilizado principalmente:

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)

	PEMFC	AFC	PAFC	MCFC	SOFC	DMFC
Electrolito	Membrana de Polímero Sólido	Solución Alcalina	Ácido Fosfórico	Carbonatos Fundidos	Óxido Sólido	Membrana de Polímero Sólido
Temperatura Operación (°C)	60 - 80	100 - 120	200 - 250	600 - 700	800 - 1000	50 - 120
Rango potencia	5 - 250 kW	5 - 150 kW	50 kW - 11 MW	100 kW - 2 MW	100 - 250 kW	5 kW
Ventajas	Baja Temperatura Arranque rápido Baja corrosión y mantenimiento	Mayor eficiencia Reacción catódica más rápida	Acepta H ₂ impuro	Reformado interno Cogeneración	Reformado interno Cogeneración	No necesita reformador de combustible
Aplicaciones	Transporte Portátiles Residencial	Espaciales	Generación eléctrica distribuida y calor	Generación eléctrica distribuida y calor	Generación eléctrica distribuida y calor	Portátiles

Tabla 5. Tipos de pilas de combustible. Fuente: Centro Nacional del Hidrógeno.

4.7.3 Tanque de hidrógeno

Un tanque de hidrógeno se usa para el almacenamiento de hidrógeno. En la actualidad se investigan muchos métodos distintos para poder almacenar la mayor cantidad de hidrógeno posible en el menor volumen y con el menor peso posibles (apilados.com, 2020).

Las formas de almacenar el hidrógeno disponible actualmente son almacenamiento físico y almacenamiento mediante materiales.

El almacenamiento físico es principalmente el hidrógeno comprimido, el hidrógeno crio comprimido y el hidrógeno líquido. Éstos son los métodos más utilizados. Existe cuatro tipos de tanques de hidrógeno

- **Tipo I.** Depósitos sin costuras fabricados con acero o aluminio. Soportan presiones de 175 bar los de aluminio y 200 bar si son de acero.
- **Tipo II.** Son tanques metálicos de acero o aluminio, sin costuras y reforzados con materiales compuestos de fibra de carbono en una sola dirección. Pueden soportar presiones de 700 bar y hasta 1000 bar.
- **Tipo III.** Tienen un forro metálico interno con o sin costuras reforzado con un material compuesto en varias direcciones. Son capaces de soportar hasta 700 bar.
- **Tipo IV.** Llevan un forro interno de material plástico, reforzado con material compuesto en distintas direcciones. Son capaces de soportar presiones de unos 700 bar.

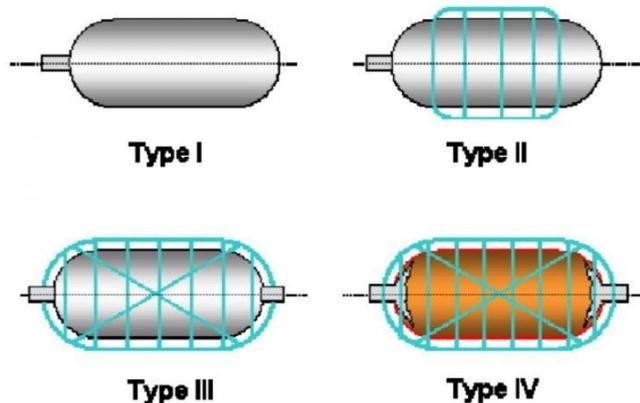


Figura 20. Esquema de los distintos tipos de tanques de hidrógeno comprimido.

En cuanto al almacenamiento mediante materiales, destaca el uso de hidruros metálicos u orgánicos, materiales absorbentes o compuestos químicos que contienen hidrógeno.

CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES

5.1 ALTERNATIVAS PLANTEADAS

Una vez estudiada la ubicación, demanda eléctrica y recursos disponibles en la urbanización, así como la tecnología de cada uno de los elementos que formarán nuestro sistema híbrido, plantearemos tres alternativas para garantizar el suministro eléctrico.

De esta forma, se plantean:

- **Alternativa 1: Renovables+ Baterías.** Se estudiará el uso de la energía eólica, solar fotovoltaica, generador eléctrico de biomasa y baterías en un sistema aislado.
- **Alternativa 2: Renovables+ Red.** En este caso, se prescindirá del uso de baterías para conectar nuestro sistema directamente a la red.
- **Alternativa 3: Renovables+ Sistema de hidrógeno.** Similar a la alternativa 3 pero en lugar de almacenar energía en baterías se usará el excedente de energía para generar hidrógeno que nos servirá para producir electricidad en un sistema aislado.
- **Alternativa 0: Sistema conectado a red.**

5.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN

Se definirán los siguientes criterios para tener en cuenta para comparar las alternativas:

- Datos climáticos.
- Económico.
- Tecnológico.
- Medioambiental.
- Social.

Cada opción se puntuará del 1 al 5. Cada uno de los criterios tendrá un peso diferente, por lo que se elegirá aquel con mayor media ponderada.

La evaluación se hará en función de los siguientes criterios: datos climáticos (15%), criterio económico (10%), criterio tecnológico (20%), criterio medioambiental (25%) y el criterio social (20%).

CAPÍTULO 6. ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES

6.1 COMPONENTES DEL SISTEMA

En este apartado se exponen cada uno de los componentes, así como un ejemplo de los productos que se pueden usar en la instalación y se encuentran disponibles en el mercado. De esta forma se pueden obtener los parámetros relacionados con el componente y el coste necesarios en HOMER para realizar la simulación.

6.1.1 Aerogenerador

Uno de los aerogeneradores disponibles en el mercado que se puede usar es el aerogenerador Enair 30 Pro de 3 kW para carga de baterías o conexión a red a 24 o 48 V. (www.enair.es, 2020)



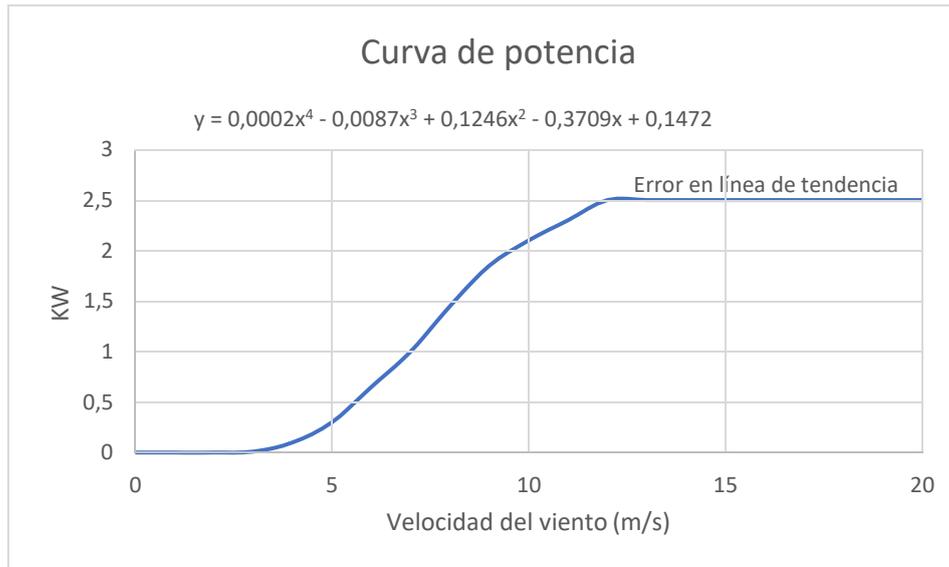
Figura 21. Enair 30 pro.

En la tabla siguiente, se especifican los parámetros que definen el aerogenerador:

Diámetro palas	Peso	Longitud lateral	Tipo de viento	Velocidad de arranque	Velocidad nominal	Velocidad de freno o de corte	Vida útil	Nivel de ruido
3,8 m	125 kg	3,4 m	Class I	2 m/s	11 m/s	60 m/s	25 años	48 dB

Tabla 6. Características del aerogenerador Enair 30 Pro

En la gráfica 27, se puede ver la curva de potencia de dicho aerogenerador, que cuenta con un C_p de 0,41.



Gráfica 18. Curva de potencia Enair 30 Pro

Por lo tanto, la ecuación de potencia del aerogenerador en función de la velocidad del viento es:

$$P = 0,0002v^4 - 0,0087v^3 + 0,1246v^2 - 0,3709v + 0,1472$$

A partir de esta ecuación y los datos de velocidad del viento podemos obtener una estimación la producción media anual de un aerogenerador.

El precio del aerogenerador Enair 30PRO 24-48V 3000Wp (incluye resistencia y regulador de carga batería, puntera, celosía 12m y freno) es de 8600 € mientras que el reemplazo sería de 7100 € y el coste de mantenimiento es según PER 2011-20 de 54 €/año. En la siguiente tabla se resumen los costes:

Cantidad	Capital (€)	Reemplazo (&)	O&M (€/año)
1	8600	7100	54

Tabla 7. Costes del aerogenerador en HOMER.

6.1.2 Gasificador de biomasa

Una de las opciones es aprovechar los residuos orgánicos generados por los habitantes de la urbanización para generar electricidad y disminuir así el número de baterías a instalar. La producción media de residuos generados por habitante en España es de 1,32 kg/día (según INE), teniendo en cuenta que en la urbanización habitan 90 personas durante los meses de verano y 51 el resto del año y que aproximadamente el 41% de estos residuos son orgánicos se pueden obtener alrededor de 12,2 t/año.

Sin embargo, una instalación de un equipo de gasificación para una urbanización pequeña es complicada y no es rentable económicamente. Estas soluciones se pueden estudiar a partir de una gestión de 15000 t/año por lo que esta opción no es viable.

A pesar de ello, si es posible el uso de gasificadores de madera natural (pellets, briquetas, madera, cáscaras, etc.), los cuales son viables para nuestra instalación. Por ejemplo, el gasificador HKA 10 consiste en una unidad de gasificación de madera y una planta combinada

de calor y energía (CHP), pudiendo aprovechar así la energía térmica y eléctrica generada. (holtz-kraft.com, 2020)



Figura 22. Gasificador de madera natural HKA 10.

En la tabla 8 se especifican los datos técnicos de este gasificador, mientras que los costes se incluyen en la tabla 9, siendo el coste aproximado de un gasificador de 2500 €/kW.

Potencia eléctrica	Potencia térmica	Consumo de combustible	Dimensiones	Temperatura de flujo	Temperatura de retorno
9 kW	22 kW	0,9 kg/kWh	2,10x1,40x2,20 m	Max. 85°C	Max. 60°C

Tabla 8. Datos técnicos gasificador HKA 10.

Tamaño (kW)	Capital (€)	Reemplazo (€)	O&M (€/h)
9	23000	22500	0.05

Tabla 9. Costes del gasificador de madera.

Como combustible se pueden usar los residuos de los cultivos cercanos a la urbanización, principalmente de vid, como por ejemplo sarmientos. Sin embargo, es difícil estimar la cantidad y el precio por lo se optará por la compra de astillas de pino ya que existe una gran oferta en la provincia (por ejemplo la empresa Eco Bioenergía situada en Elda, a 20 min de Aspe). El precio de este tipo de madera está alrededor de los 25 €/t de forma que se trata de un combustible asequible.

6.1.3 Instalación fotovoltaica

Para esta instalación se puede usar la placa solar 400W Jinko Mono Perc. Es uno de los modelos más avanzados gracias a su tecnología con célula monocristalina PERC. Dentro de la gama de paneles de 24V, los Jinko destacan por una gran eficiencia de funcionamiento. Con las mismas dimensiones que un panel de 330W de tipo policristalino, ofrece hasta 400W de potencia. (monsolar.com, 2020)



Figura 23. Placa solar 400W Jinko Mono Perc

En la figura 24 se muestra la curva característica de la placa elegida.

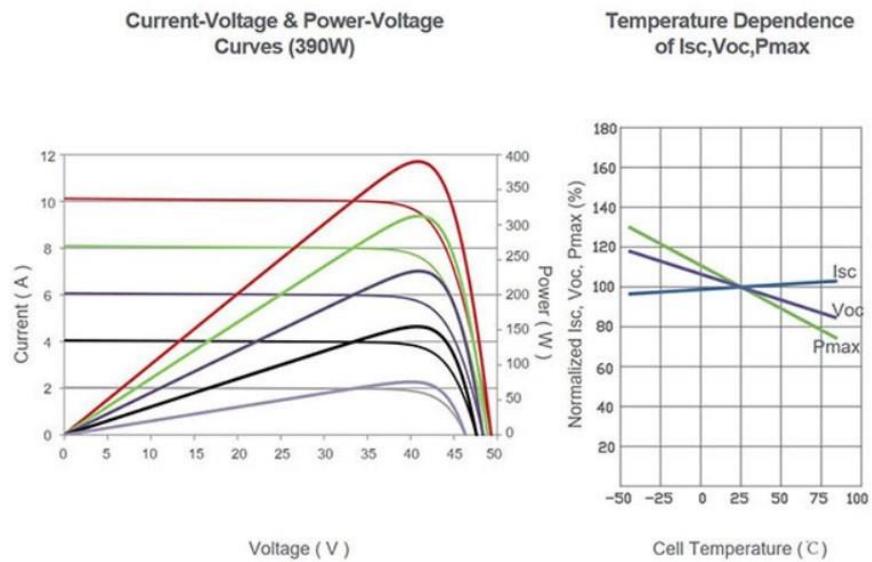


Figura 24. Curva características de la placa.

En la tabla 9, se especifican cada uno de los parámetros de la placa con una definición de cada uno de ellos. Cada uno de estos valores se deben incluir en HOMER.

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)

Corriente de salida	DC	
Vida útil (años)	25	
Factor de reducción (%)	80	<i>Es un factor de escala aplicado a la salida de potencia de la placa para tener en cuenta la salida reducida en condiciones de funcionamiento del mundo real en comparación con las condiciones de funcionamiento en las que se clasificó.</i>
Pendiente (grados)	38,3333	<i>El ángulo en el que se montan los paneles en relación con la horizontal.</i>
Azimut (grados)	0	<i>La dirección hacia la que se enfrentan los paneles.</i>
Reflectancia del suelo (%)	20	<i>La fracción de radiación solar incidente en el suelo que se refleja.</i>
Efecto de la temperatura		
Sistema de seguimiento	No hay sistema de seguimiento	<i>El tipo de sistema de seguimiento utilizado para dirigir los paneles fotovoltaicos hacia el sol.</i>
Coefficiente de temperatura de potencia (%/°C)	-0,36	<i>Un número que indica con qué intensidad depende la salida de potencia de la matriz FV de la temperatura de la celda.</i>
Temperatura nominal de funcionamiento (°C)	45	<i>La temperatura de la celda a 0.8 kW / m², temperatura ambiente de 20 ° C y 1 m / s de velocidad del viento.</i>
Eficiencia a condiciones estándar (%)	19,88	<i>La máxima eficiencia del punto de potencia en condiciones de prueba estándar.</i>

Tabla 10. Parámetros de la placa solar usados en HOMER.

La tabla 11 incluye los costes de la instalación fotovoltaica. En el capital se incluye el precio de la placa más soporte, coste de instalación, cableado, operarios, etc. En total el coste capital sería de 290 € mientras que el reemplazo corresponde al precio de la placa que es de 165 €. En relación con el coste de mantenimiento este sería de 0,047 €/año según PER 2011-20.

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)

Tamaño (kW)	Capital (€)	Reemplazo (€)	O&M (€/año)
0.4	290	165	0,047

Tabla 11. Costes de la placa solar en HOMER.

6.1.4 Inversor

Uno de los inversores que se pueden usar tanto para conexión a red como para cargador de baterías es el inversor híbrido 10kW Kostal Plenticore Plus. Este inversor es un dispositivo de conexión a red trifásico que está preparado para almacenar el excedente de producción fotovoltaica en una batería. Además, integra tres reguladores de carga PMP o MPPT, seguidores del punto de máxima potencia, necesario en nuestra instalación. De esta manera, es útil para las 3 alternativas planteadas. (fusionenergiasolar.es, 2020)



Figura 25. inversor híbrido 10kW Kostal Plenticore Plus.

En el anexo se detallan todas las características del inversor. Algunas de las cuales debemos introducir en HOMER y se detallan en la tabla 12, así como los costes del convertidor en la tabla 13.

Vida útil (años)	15
Eficiencia (%)	96,5

Tabla 12. Parámetros del inversor en HOMER.

Tamaño (kW)	Capital (€)	Reemplazo (€)	O&M (€/año)
10	2800	2300	10

Tabla 13. Costes del convertidor en HOMER.

6.1.5 Batería

Como batería es posible usar el modelo Vision 6FM200D, ya definida en HOMER y disponible en el mercado actual. (vision-batt.com, 2020) En la tabla siguiente se pueden ver cada uno de sus parámetros:

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)

Capacidad nominal	Voltaje nominal	Eficiencia	Min. Estado de carga	Vida útil	Max. Ratio de carga	Max. corriente	Lifetime throughput	Valor sugerido
200 Ah	12V	80%	40%	10 años	1A/Ah	60A	917 kWh	922 kWh

Tabla 14. Parámetros batería.



Tabla 15. Batería Vision 6FM2200D

En la siguiente tabla se especifican cada uno de los costes de la batería necesarios en HOMER.

Cantidad	Capital (€)	Reemplazo (€)	O&M (€/año)
1	385	365,5	50

Tabla 16. Costes de la batería en HOMER

6.1.6 Red eléctrica

Para la alternativa 2, el sistema estará conectado a red. Por ello se definen los siguientes parámetros de la tabla 17. (www.ree.es, 2020)

Precio de la electricidad (€/kWh)	0,12	<i>Coste de comprar electricidad de la red</i>
Tasa de venta (€/kWh)	0,05	<i>El precio que la empresa de servicios públicos le paga por la energía que vende a la red.</i>
Tasa de demanda (€/kWh/mo)	0	<i>La tarifa mensual cobrada por la empresa de servicios públicos en la demanda pico mensual.</i>

Tabla 17. Parámetros de la red eléctrica en HOMER.

Por otra parte, los datos que hacen referencia a las emisiones de la red eléctrica en España ya están introducidos en HOMER siendo:

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)

Dióxido de carbono (g/kWh)	632
Monóxido de carbono (g/kWh)	0
Hidrocarburos no quemados (g/kWh)	0
Sustancias volátiles (g/kWh)	0
Dióxido de azufre (g/kWh)	2,74
Óxido de nitrógeno (g/kWh)	1,34

Tabla 18. Emisiones de la red en HOMER.

6.1.7 Electrolizador

Como electrolizador se escogerá un electrolizador PEM, más utilizado para pequeña y mediana escala. Por ello, se puede utilizar el electrolizador HyPEM XP 024 de la marca H2Planet (h2planet.eu, 2020).

Modelo	HyPEM XP 024
Capacidad de producción	0,24 m ³ /h
Pureza de hidrógeno	6,0 (99,9999%)
Peso	120 kg
Dimensiones	80x100x30 cm
Presión de hidrógeno	0-11 bar
Potencia consumida	25 kW
Vida útil	10 años
Eficiencia	85%

Tabla 19. Características técnicas del electrolizador HyPEM XP 024.



Figura 26. Electrolizador HyPEM XP 024.

En la siguiente tabla se muestra el coste de un electrolizador. Estos precios son una aproximación obtenida a partir de un estudio de la Universidad de Sevilla sobre los electrolizadores y sus aplicaciones, donde se define el precio actual de 2090 € por kW.

System cost ^[1]			Today	2015	2020	2025	2030
EUR/kW	Alkaline	Central	1,100	930	630	610	580
		Range	1,000 - 1,200	760 - 1,100	370 - 900	370 - 850	370 - 800
	PEM	Central	2,090	1,570	1,000	870	760
		Range	1,860 - 2,320	1,200 - 1,940	700 - 1,300	480 - 1,270	250 - 1,270

Figura 27. Precio estimado del electrolizador. Fuente: Electrólisis PEM de baja temperatura y sus aplicaciones industriales. Universidad de Sevilla.

Tamaño (kW)	Capital (€)	Reemplazo (€)	O&M (€/año)
25	52750	52250	1567,5 (aproximadamente 3% del coste inicial)

Tabla 20. Costes del electrolizador en HOMER

6.1.8 Tanque de almacenamiento

Para tanques de almacenamiento de hidrógeno se puede usar el modelo MyH2 7000 de la empresa H2Planet. En ellos el hidrógeno viene almacenado a baja presión y el interior de los cartuchos (recargables), está dotado de una avanzada logística de seguridad en términos de material y tecnología (h2planet.eu, 2020).



Figura 28. MyH2 7000.

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)

En la siguiente tabla se especifican cada una de las características técnicas:

Modelo	Capacidad de almacenaje	Temperatura de trabajo	Peso	Tamaño	Presión de almacenamiento	Pureza mínima H2	Vida útil
MyH2 7000	7000 litros (6 kg)	+5°C +35°C	47 kg	Altura: 108,5 cm Diámetro: 14 cm	1,5-30 bar	6,0	20 años

Tabla 21. Características técnicas de MyH2 3000.

En la siguiente tabla se muestra el coste de un tanque de almacenamiento de hidrógeno de estas características.

Tamaño (kg)	Capital (€)	Reemplazo (€)	O&M (€/año)
6	18000	17500	900

Tabla 22. Costes del electrolizador en HOMER

6.1.9 Pila de combustible

Una de las opciones disponibles en el mercado actual es el módulo FCveloCity-MD de 30kW de Ballard (www.ballard.com, 2020). Se trata de una pila de combustible PEMFC con membrana de intercambio de protones con cero emisiones (en PM, NOx, SOx, CO o CO2). Además, esta pila de combustible tiene las siguientes características:

Rango de voltaje (DC)	Dimensiones (l x a x h)	Peso	Combustible	Oxidante	Consumo de combustible	Nivel de sonido	Vida útil
85-180 V	900 x 480 x 375 mm	125 kg	Hidrógeno en estado gaseoso	Aire	0,00084 kg/h/kW	Menos de 75 dBA	80000 horas

Tabla 23. Características de la pila de combustible FCveloCity-MD de 30kW.

En la siguiente tabla se muestra el coste de una pila de combustible de estas características. Para ello se basará la estimación del coste a partir de los datos obtenidos en el trabajo sobre la electrólisis PEM (Figura 26), ya que el electrolizador y la pila de combustible se basa en los mismos principios es coste será parecido.

Tamaño (kW)	Capital (€)	Reemplazo (€)	O&M (€/h)
30	63200	62700	0,215

Tabla 24. Costes de la pila de combustible en HOMER



Figura 29. Pila de combustible.

6.2 ESTUDIO DE LAS ALTERNATIVAS

En este punto se estudiará cada alternativa planteada. En el caso de la instalación fotovoltaica, para la cual es necesario una mayor extensión de terreno en comparación con el resto de las tecnologías, se pondrán como máximo 225 placas solares que son 90 kW, limitando así el tamaño necesario para la instalación. En el resto no habrá ninguna restricción de tamaño.

6.2.1 Alternativa 1: Gasificador, placas solares y baterías

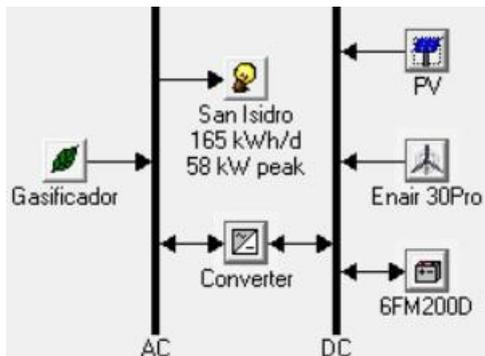


Figura 30. Esquema de la alternativa 1. Fuente: HOMER.

Esta opción consistirá en el uso de un gasificador de biomasa, placas solares y aerogeneradores, además del uso de baterías para almacenar la energía y poder así abastecer la demanda eléctrica de la urbanización. En la figura 30 se representa el esquema de la alternativa 1.

En esta alternativa se añadió el gasificador para evitar un número excesivo de baterías, que encarece mucho la instalación.

Con estos elementos, al calcular el sistema se obtienen las opciones de la figura 31. De las cuales

se elegirá la primera opción ya que es la más económica. En este caso se trata de una instalación fotovoltaica de 20 kW, un gasificador de 17 kW que trabaja 6747 horas, 30 baterías y un inversor de 40 kW.

	PV (kW)	E30	Gasf (kW)	6FM2000	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Biomass (t)	Gasf (hrs)	Batt. Lf. (yr)
	20		17	30	40	\$ 80,694	5,020	\$ 144,865	0.188	1.00	55	6,747	10.0
	20	2	17	30	40	\$ 97,894	4,970	\$ 161,423	0.210	1.00	53	6,543	10.0

Figura 31. Resultados de la alternativa 1 en HOMER.

En cuanto a la producción y el consumo de electricidad, se obtiene la siguiente información representada en la figura 32 y la gráfica 19. Se puede apreciar que la mayor parte de la producción se obtiene del gasificador (61 %) y el resto de las placas solares (39 %) produciendo un total de 71209 kWh/año cubriendo así el 100 % de la demanda con una fracción renovable igual a 1. Por otra parte, el exceso de electricidad es del 11,2 %, ocurriendo principalmente en los meses de poca demanda. Para conseguir un exceso más bajo es necesario darle mayor importancia a la biomasa, ya que se trata de una tecnología con una producción más estable, mientras que la energía producida por las placas solares es estacional y como se verá a

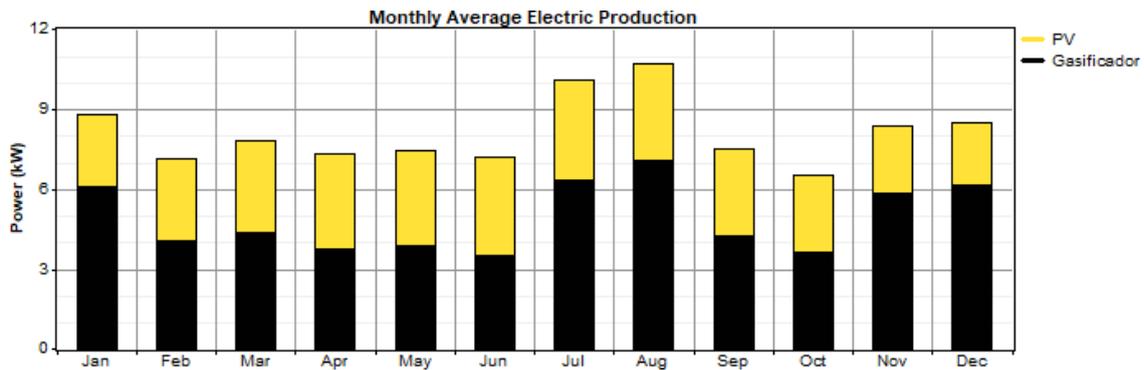
Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)

continuación produce excesos, los cuales se dan principalmente durante los picos de producción de las placas solares.

Production	kWh/yr	%	Consumption	kWh/yr	%	Quantity	kWh/yr	%
PV array	28,062	39	AC primary load	60,216	100	Excess electricity	7,997	11.2
Gasificador	43,147	61	Total	60,216	100	Unmet electric load	8.69	0.0
Total	71,209	100				Capacity shortage	38.9	0.1

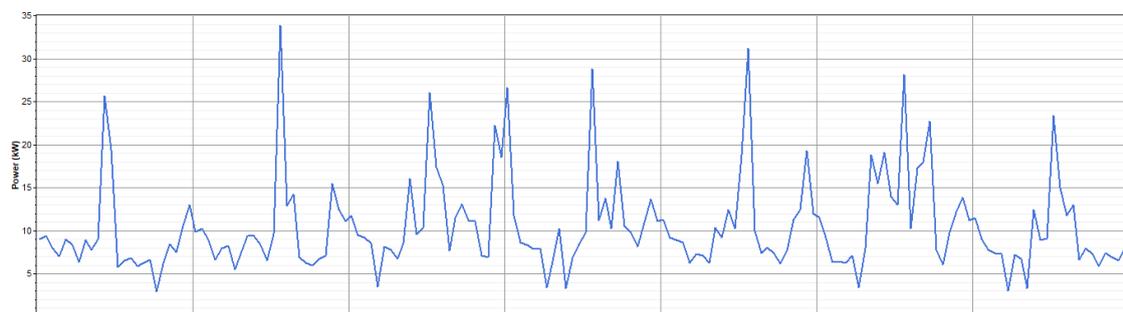
Quantity	Value
Renewable fraction	1.00

Figura 32. Producción y consumo de energía de la alternativa 1. Fuente: HOMER.

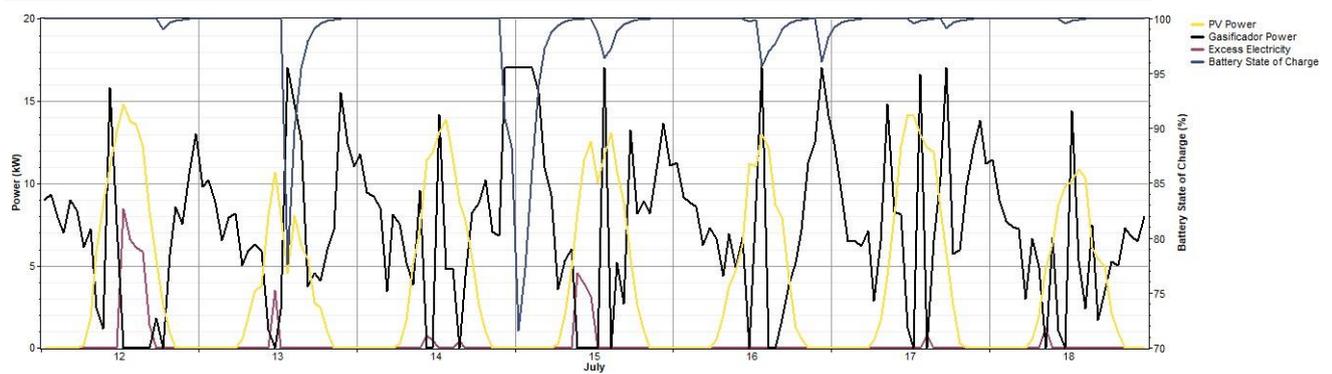


Gráfica 19. Producción media mensual de la alternativa 1. Fuente: HOMER.

En cuanto al exceso de generación, en la gráfica 20 se muestra lo que ocurre en un mes con demanda alta (julio en este caso). En esta gráfica se representa la demanda en la parte superior y la producción de las placas solares y el gasificador, el estado de carga de las baterías y el exceso de electricidad. Se puede apreciar que el exceso es menor y se da durante los picos de máxima producción de las placas solares. La demanda se cubre gracias a la descarga de las baterías (color azul oscuro en la gráfica inferior), el gasificador (color negro en la gráfica inferior) y las placas (color amarillo). El gasificador va cubriendo la demanda durante los periodos donde las placas solares no generan energía, durante las horas de la noche. En el día 12 se puede apreciar un aumento del exceso ya que la producción de energía por parte de las placas es alta y la demanda menor. Además, en este caso esta energía no puede usarse para cargar las baterías ya que están totalmente cargadas. La descarga de las baterías se da durante las horas de la noche de la misma forma que el gasificador.

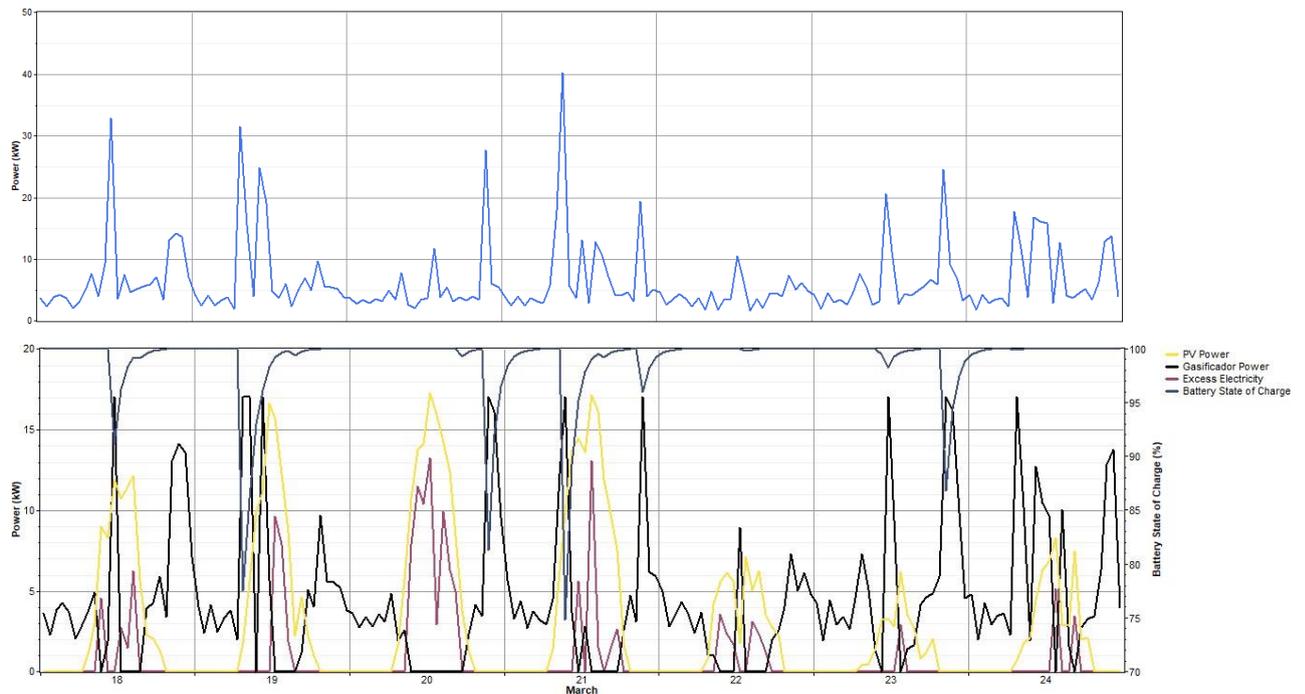


Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)



Gráfica 20. Exceso de electricidad de la alternativa 1 en julio. Fuente: HOMER.

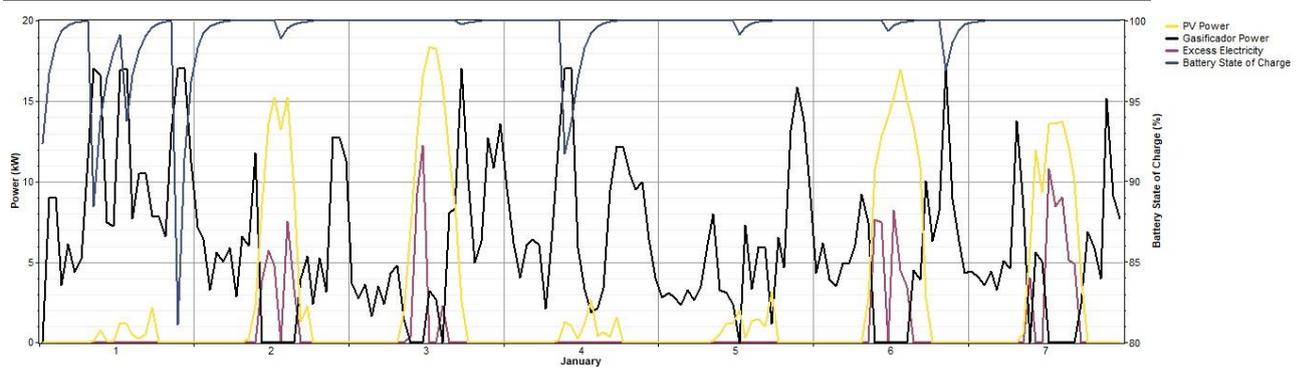
En cambio, en marzo (gráfica 21) el exceso de electricidad es mayor. Se trata de un mes con menos demanda de manera que en los picos de producción de las placas solares gran parte de la energía se pierde ya que tampoco se pueden utilizar puesto que las baterías están totalmente cargadas. Hay que destacar el día 20 donde la demanda es baja aumentando durante la noche por lo que la mayor parte de la energía generada por las placas se pierde, cubriendo la demanda de la noche con el gasificador y las baterías



Gráfica 21. Exceso de electricidad de la alternativa 1 en marzo. Fuente: HOMER.

Otro ejemplo sería el exceso en enero, mes con más demanda que en marzo y donde se aprecia que las pérdidas son menores. En este caso se repite lo visto en las gráficas anteriores. Además, se puede apreciar que se trata de un mes en invierno por la producción de las placas, lo cual se explicará más adelante.

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)



Gráfica 22. Exceso de electricidad de la alternativa 1 en enero. Fuente: HOMER.

En relación con las emisiones de la instalación, la siguiente tabla muestra los datos asociados a la instalación, siendo estas emisiones debidas al gasificador, pero menores que un sistema conectado a red como se verá al comparar las 3 alternativas:

Pollutant	Emissions (kg/yr)
Carbon dioxide	10.2
Carbon monoxide	0
Unburned hydrocarbons	0
Particulate matter	0
Sulfur dioxide	0
Nitrogen oxides	0.0000305

Figura 33. Emisiones del sistema en la alternativa 1. Fuente: HOMER.

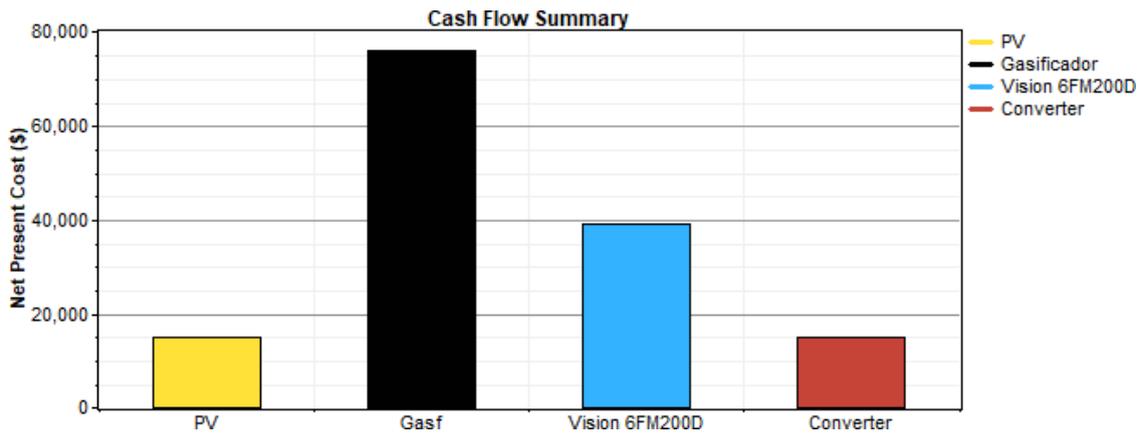
En relación con el precio de la instalación, en la tabla se muestra el coste inicial, NPC y COE de la instalación. El COE representa el precio del kWh, siendo en este caso elevado debido principalmente al uso de baterías y estar aislado el sistema en comparación con el precio de la red eléctrica (0,12 €/kWh). A pesar de ello se trata de un precio asequible.

Inversión inicial	NPC	COE
80694 €	144865 €	0,188 €/kWh

Tabla 25. Coste de la alternativa 1.

El elemento más caro de la configuración es el gasificador con un coste final de 75889 €, seguido de las baterías con 39001 €, después la instalación fotovoltaica con un coste de 15139 € y por último el inversor con un coste de 14836 €. Como vemos al darle mayor importancia al gasificador aumenta considerablemente su coste, pero se consigue reducir el exceso y las baterías.

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)

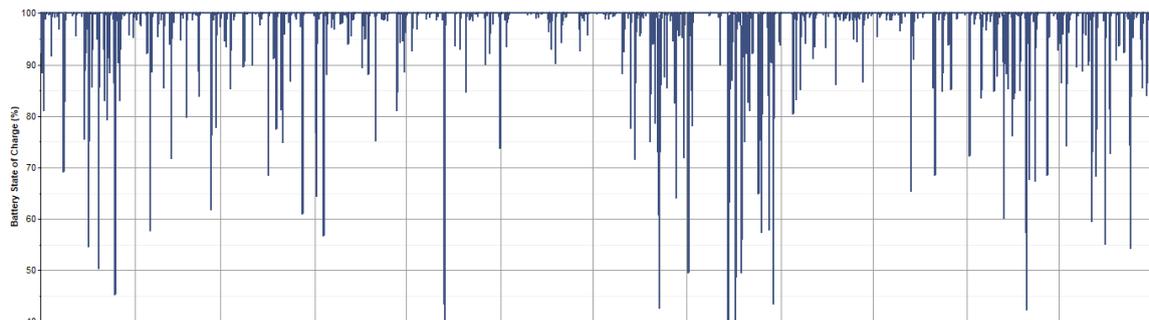


Gráfica 23. Costes por componente de la alternativa 1. Fuente: HOMER.

En la figura 34 se muestra información sobre el funcionamiento de las baterías. Las pérdidas son de 564 kWh/año de manera que toda esta energía se pierde, pero se consigue cubrir la demanda como se ha visto al analizar el exceso de electricidad. Estas pérdidas representan un 20 % de la energía que entra en las baterías, lo que supone una eficiencia del 80 %, tal como se muestra en el apartado 6.1.5 en el que se analizan las características de este componente de la instalación. En la gráfica 24, se muestra el estado de carga de las baterías donde se puede apreciar que las baterías se descargan principalmente durante los meses de mayor demanda.

Quantity	Value	Units
Energy in	2,821	kWh/yr
Energy out	2,256	kWh/yr
Storage depletion	0	kWh/yr
Losses	564	kWh/yr
Annual throughput	2,523	kWh/yr
Expected life	10.0	yr

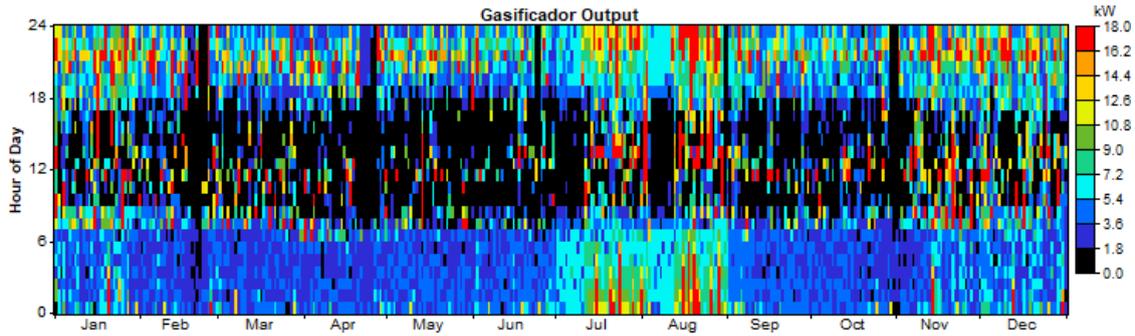
Figura 34. Funcionamiento de las baterías en la alternativa 1. Fuente: HOMER.



Gráfica 24. Estado de carga de las baterías. Fuente: HOMER.

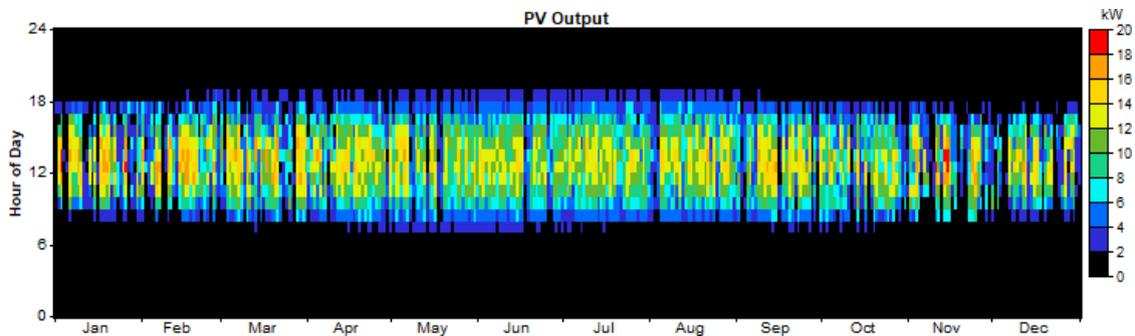
Por otra parte, se muestra en la gráfica 25 el funcionamiento del gasificador, trabajando este durante la noche y en los meses con mayor demanda. Este resultado también se ha podido ver al analizar el exceso, donde el gasificador se encargaba junto con las baterías de cubrir la demanda durante los periodos donde las placas solares no funcionaban. Además, durante los meses de verano e invierno con mayor demanda también se utiliza durante el día apoyando así a las placas solares.

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)



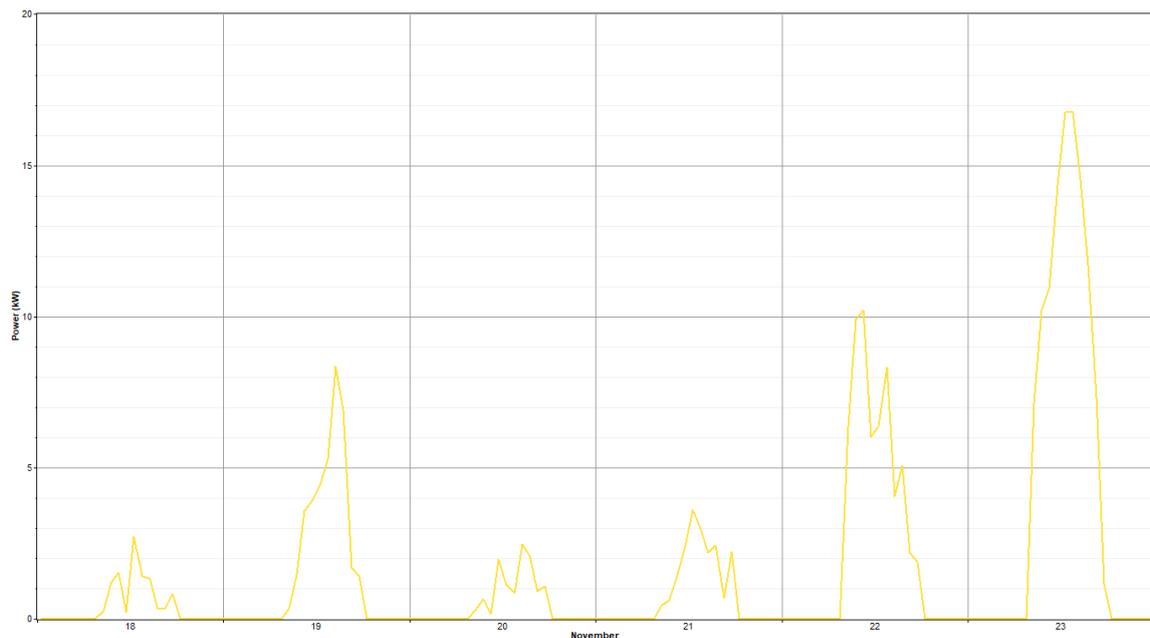
Gráfica 25. Funcionamiento del gasificador en la alternativa 1. Fuente: HOMER.

A continuación, se analizará el funcionamiento de las placas solares. Como se ve en la gráfica 27 la máxima producción durante los meses de verano, alcanzando el pico a las 12 del mediodía. En noviembre se puede apreciar mayor cantidad de días nublados donde la producción es más baja.



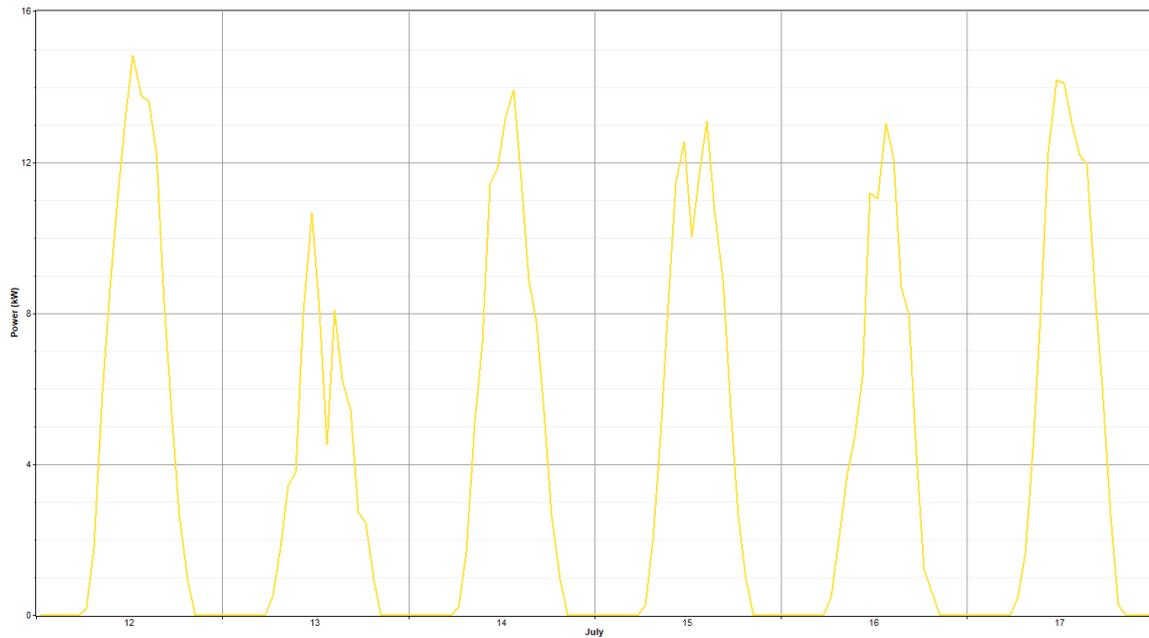
Gráfica 26. Producción de las placas solares en la alternativa 1. Fuente: HOMER.

En la gráfica 28 se puede apreciar el comportamiento explicado anteriormente en los días de noviembre. Se trata de unos días nublados donde la producción se reduce notablemente si comparamos con la gráfica 29 donde se analiza la producción en los días de julio.



Gráfica 27. Producción de las placas solares de la alternativa 1 en noviembre. Fuente: HOMER.

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)



Gráfica 28. Producción de las placas solares de la alternativa 1 en julio. Fuente: HOMER.

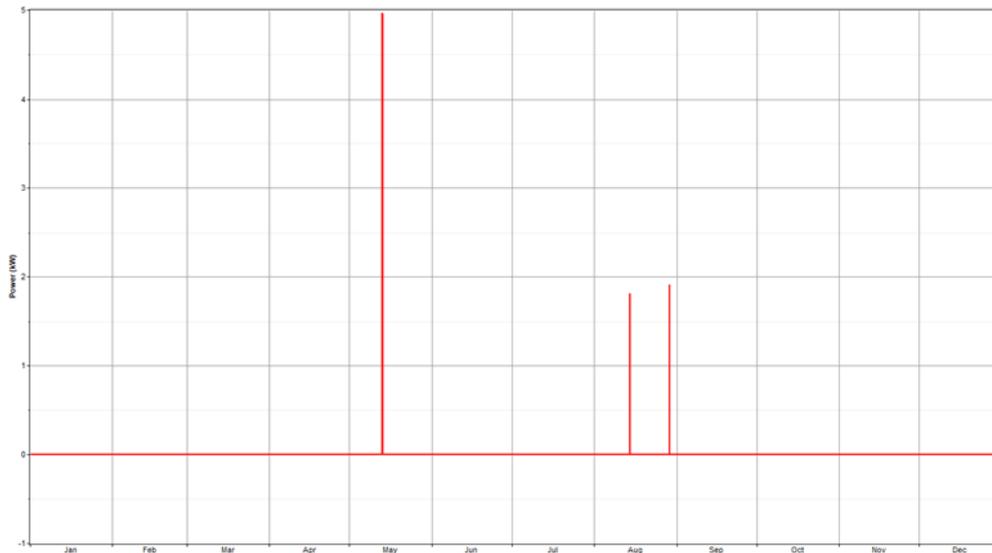
Además, hay que analizar el inversor. En este caso, este dispositivo funciona principalmente para convertir de DC a AC produciéndose unas pérdidas de 2431 kWh/año. Se valoró la posibilidad de aumentar el tamaño del inversor para reducir las pérdidas. Sin embargo, al ser unas pérdidas tan pequeñas la solución óptima económicamente es un inversor de 40 kW.

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Hours of operation	4,299	2,960	hrs/yr
Energy in	21,242	2,049	kWh/yr
Energy out	19,118	1,742	kWh/yr
Losses	2,124	307	kWh/yr

Figura 35. Funcionamiento del inversor de la alternativa 1. Fuente: HOMER.

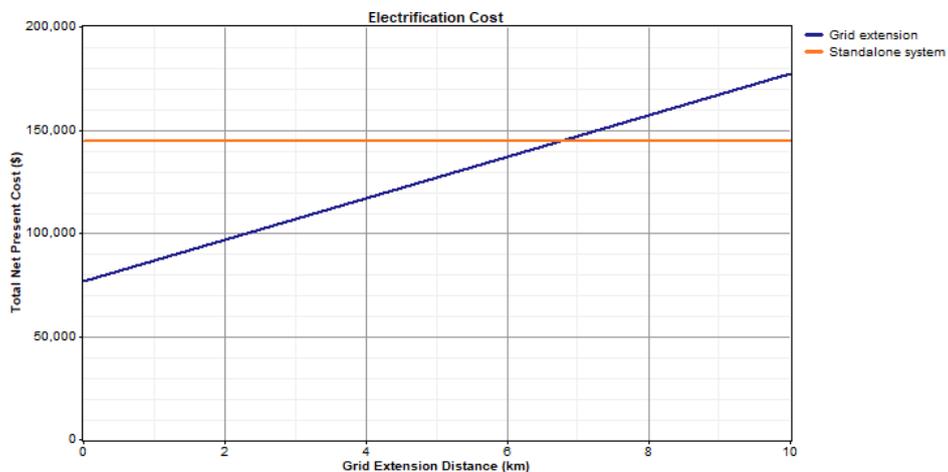
También hay parte de la demanda que no se llega a cubrir siendo está muy pequeña y durante los meses de mayo y agosto. Se trata de momentos puntuales donde una parte no superior a 5 kW que no se cubre. En total no se cubren 8,69 kWh/año, siendo un porcentaje muy pequeño.

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)



Gráfica 29. Demanda no satisfecha en la alternativa 1. Fuente: HOMER.

Por último, HOMER compara el NPC estimado del sistema aislado y la conexión a red siendo el coste del sistema inferior a la conexión a red a partir de los 7 km aproximadamente de distancia a la red. En nuestro caso, el precio del sistema aislado es mayor ya que la distancia es muy pequeña. Sin embargo, al analizarlo se puede demostrar que en esta zona se podría cubrir la demanda perfectamente prescindiendo del uso de la red eléctrica, aunque el precio sea unos 75000€ mayor aproximadamente.



Gráfica 30. Comparación del sistema aislado y conexión a red de la alternativa 1. Fuente: HOMER.

En conclusión, se trata de una alternativa más cara que la conexión a red debido a ser un sistema aislado, pero con esta simulación se puede ver que se puede abastecer eléctricamente la urbanización con una fracción renovable igual a 1, reduciendo las emisiones y sin conectarnos a la red eléctrica.

6.2.2 Alternativa 2: Placas solares conectadas a red.

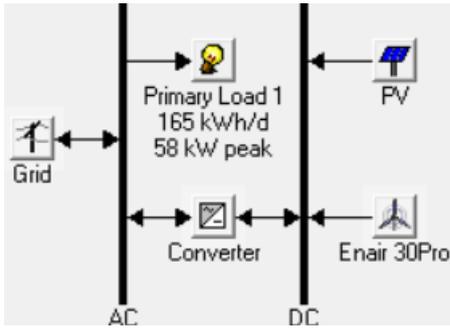


Figura 36. Esquema de la alternativa 2. Fuente: HOMER.

Esta opción consistirá en el uso de placas solares y aerogeneradores, conectando este sistema a red. En la figura 36 se representa el esquema de la alternativa 2.

Según RD 244/2019, esta configuración se podría considerar como modalidad con excedentes acogida a compensación de excedentes ya que en nuestro caso se cumplen todos los requisitos necesarios (tecnología renovable, potencia menor de 100 kW, un único contrato de suministro para consumo y servicios auxiliares, contrato de compensación de excedentes e instalaciones no sujetas a Régimen Retributivo Específico) (www.boe.es).

Al ser una instalación mayor de 15 kW, será necesario realizar los trámites de acceso y conexión a la red eléctrica para poder verter a la red. En ningún caso el precio de la energía vendida a la red puede ser mayor al precio de compra de la energía de la red. Para nuestra instalación el precio de compra es de 0,12 €/kWh mientras que el de venta es de 0,05 €/kWh. Además, la energía vendida a la red no puede ser superior a la energía comprada.

Con estos elementos, al calcular el sistema se obtienen las opciones de la figura 37. Esta instalación está formada por una instalación fotovoltaica de 42 kW conectada a red con un inversor de 50 kW. En este caso los aerogeneradores no son rentables debido a su coste y las bajas velocidades del viento comparado con la energía aportada por las placas a un precio más competitivo.

	PV (kW)	E30	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
	42		50	1000	\$ 44,450	2,849	\$ 80,876	0.105	0.63
	42	1	50	1000	\$ 53,050	2,755	\$ 88,264	0.115	0.65

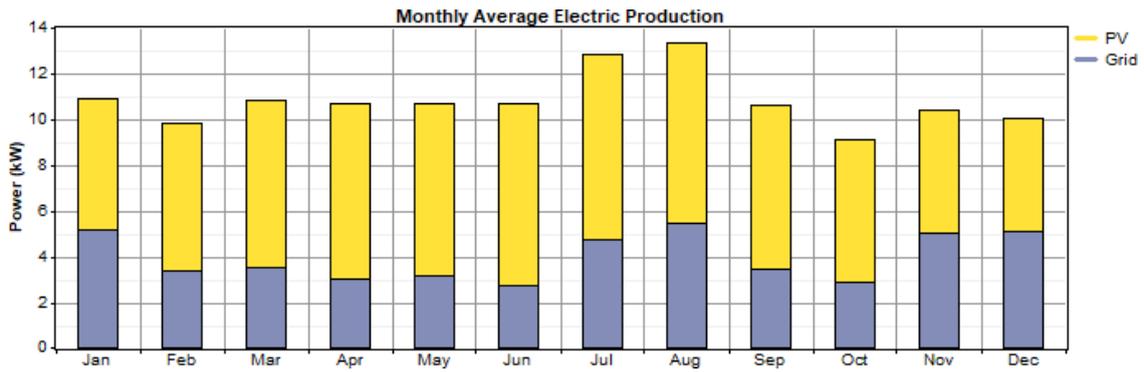
Figura 37. Resultados de la alternativa 2 en HOMER.

Para esta instalación fotovoltaica, la mayor parte de la producción procede de las placas solares (63 %) y el 37 % corresponde a la compra de energía de la red. En este caso la mayor parte se destina a cubrir la demanda de la urbanización mientras que el 36 % se vende siendo esta venta menor a la compra de energía. En este caso no existe exceso de electricidad ya que este exceso es muy pequeño. Además, con esta instalación se consigue un 0,634 de fracción renovable.

Production	kWh/yr	%	Consumption	kWh/yr	%	Quantity	kWh/yr	%
PV array	60,260	63	AC primary load	60,225	64	Excess electricity	0.0000547	0.00
Grid purchases	34,792	37	Grid sales	33,622	36	Unmet electric load	0.00	0.00
Total	95,053	100	Total	93,847	100	Capacity shortage	0.00	0.00
						Quantity	Value	
						Renewable fraction	0.634	

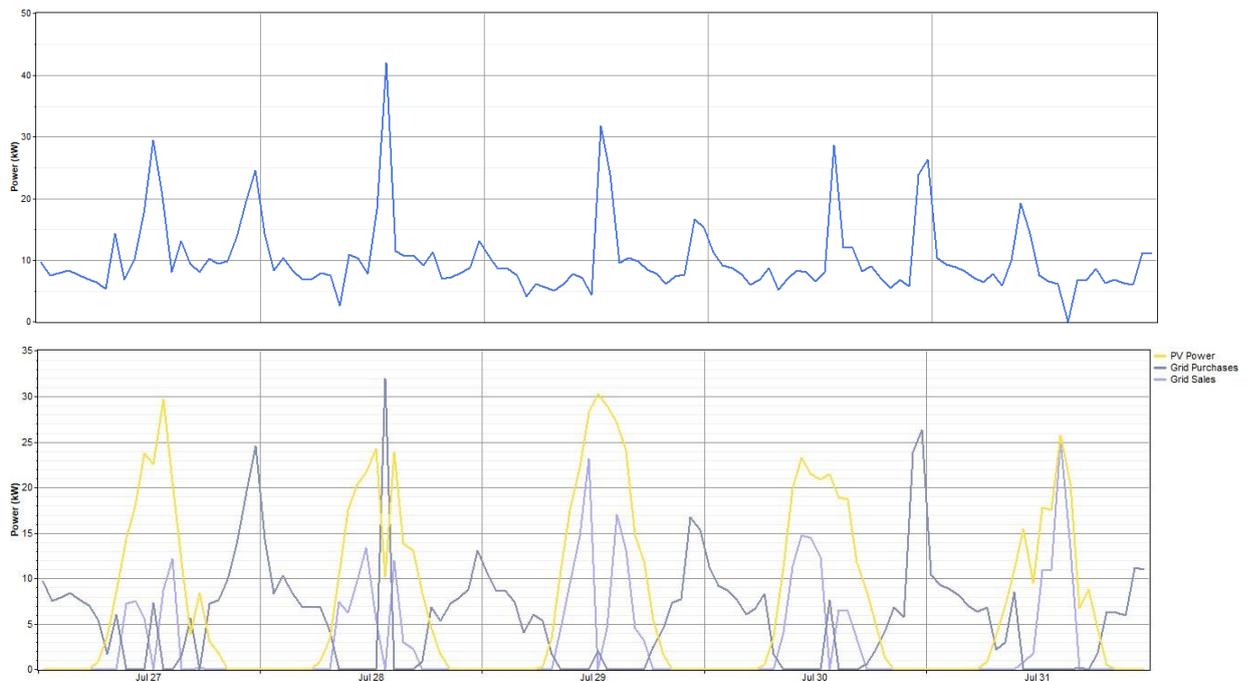
Figura 38. Producción y consumo de energía en la alternativa 2. Fuente: HOMER.

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)



Gráfica 31. Producción media mensual de la alternativa 2. Fuente: HOMER.

En la gráfica 33 se analiza la producción comparando las placas solares, la compra y venta de energía de la red y la demanda (gráfica superior) para los días del 27 al 31 de julio. Se puede ver que la compra de energía de la red coincide durante los puntos en las placas solares no están en funcionamiento, mientras que la venta se da en los periodos de máximo funcionamiento de las placas de manera que este exceso se vende a la red. Este comportamiento se repite durante todos los meses del año.



Gráfica 32. Producción de electricidad en los días de verano en la alternativa 2. Fuente: HOMER.

En cuanto a las emisiones, éstos son mayores respecto a las demás alternativas planteadas ya que está conectado el sistema a la red. En la figura 39, se muestran las emisiones de esta alternativa calculadas en HOMER.

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)

Pollutant	Emissions (kg/yr)
Carbon dioxide	739
Carbon monoxide	0
Unburned hydrocarbons	0
Particulate matter	0
Sulfur dioxide	3.21
Nitrogen oxides	1.57

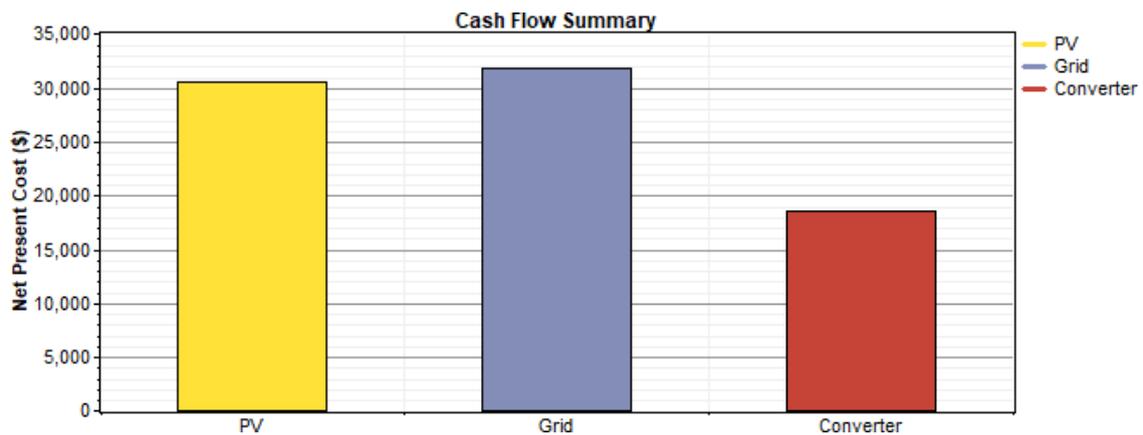
Figura 39. Emisiones de la alternativa 2. Fuente: HOMER.

En cuanto al precio de la instalación, este es más económico que el resto de las alternativas. En la siguiente tabla se muestra la inversión inicial, NPC y COE.

Inversión inicial	NPC	COE
44450 €	80876 €	0,105 €/kWh

Gráfica 33. Coste de la alternativa 2.

En la siguiente gráfica se muestra el precio de cada componente, siendo la compra de la red lo más caro de la instalación (31881 €), seguido de las placas solares (30450 €) y por último el inversor (18545 €).

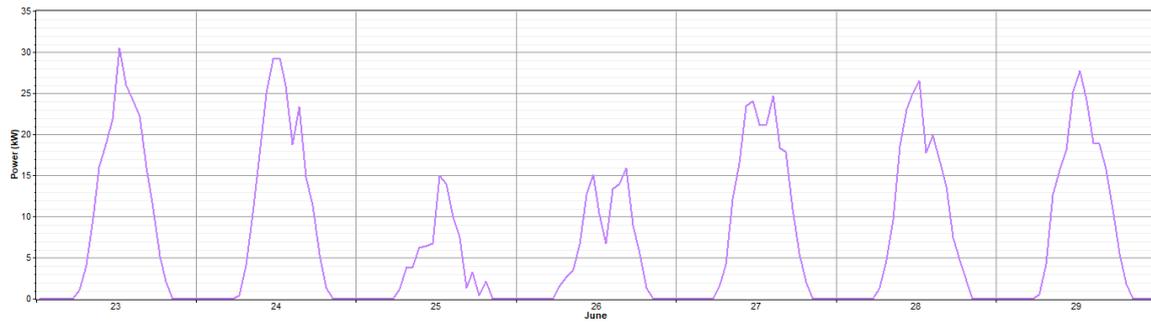


Gráfica 34. Coste de cada componente en la alternativa 2. Fuente: HOMER.

En cuanto al funcionamiento del inversor, éste funciona para convertir la electricidad en DC a AC de las placas solares por lo que la energía inyectada en él (gráfica inferior) coincide con la producción de las placas (gráfica superior).



Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)



Gráfica 35. Comparación del inversor y las placas solares. Fuente: HOMER.

En la gráfica anterior se confirma el comportamiento de las placas explicados en la alternativa 1. Se observa que éstas alcanzan el pico de producción a mediodía.

En este caso las pérdidas son muy pequeñas, coincidiendo las horas de operación con las de las placas por lo explicado en la gráfica anterior.

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Hours of operation	4,385	0	hrs/yr
Energy in	60,260	0	kWh/yr
Energy out	59,055	0	kWh/yr
Losses	1,205	0	kWh/yr

Figura 40. Funcionamiento de inversor. Fuente: HOMER.

En conclusión, esta opción es más rentable económicamente, pero la fracción renovable es más pequeña aumentando las emisiones y se tendría que conectar el sistema a red eléctrica cumpliendo todos los requisitos necesarios para ello.

6.2.3 Alternativa 3: Gasificador, placas solares y sistema de hidrógeno.

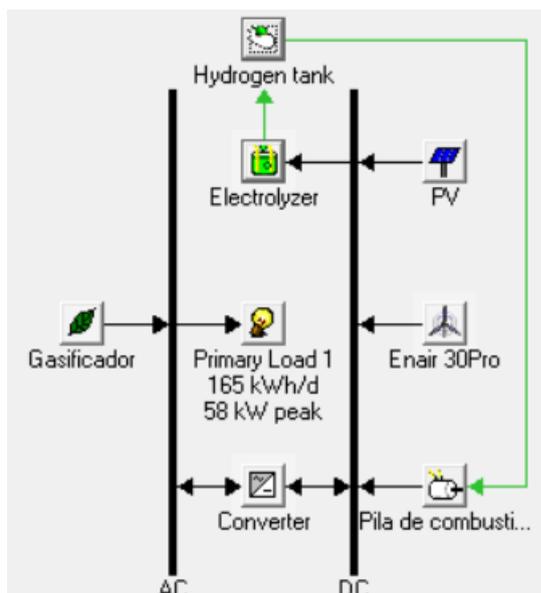


Figura 41. Esquema de la alternativa 3. Fuente: HOMER.

Esta opción consistirá en el uso de un gasificador de biomasa, placas solares, aerogeneradores y un sistema de generación y almacenamiento de hidrógeno, además de una pila de combustible para generar electricidad a partir de hidrógeno. En la figura 41 se representa el esquema de la alternativa 3.

Con estos elementos, al calcular el sistema se obtiene la configuración de la figura 41. Esta configuración consiste en una instalación fotovoltaica de 50 kW, un gasificador de biomasa de 17 kW trabajando 4874 horas al año, una pila de combustible (FC) de 29 kW que trabaja durante 1283 horas al año, un inversor de 40 kW, un electrolicador de 20 kW y serán necesarios tanques de hidrógeno para

almacenar 19 kg.

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)

	PV (kW)	E30	Gasf (kW)	FC (kW)	Conv. (kW)	Elec. (kW)	H2 Tank (kg)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Biomass (t)	Gasf (hrs)	FC (hrs)
	50		17	29	40	20	19	\$ 208,058	6,959	\$ 297,016	0.386	1.00	31	4,874	1,283
	50	1	16	29	40	20	19	\$ 214,102	6,967	\$ 303,166	0.394	1.00	31	4,975	1,169

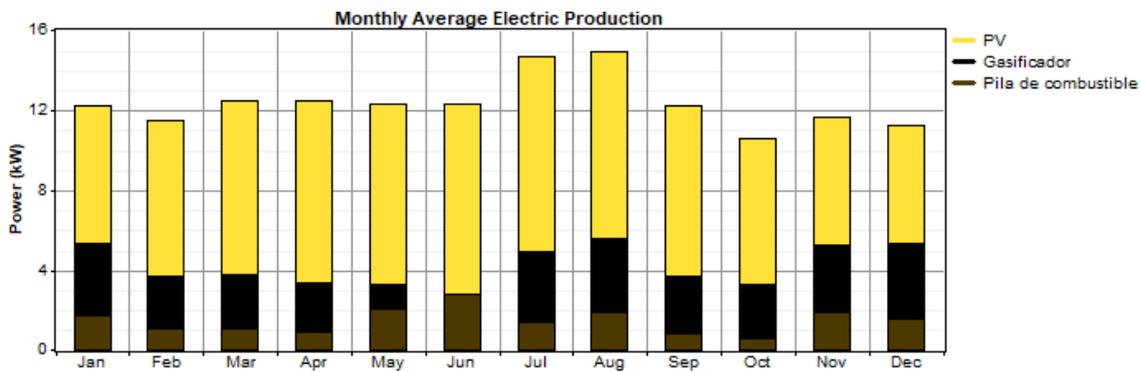
Figura 42. Configuraciones de la alternativa 3. Fuente: HOMER.

Para esta configuración, el 66 % de la producción procede de las placas solares, un 22 % del gasificador y el 12 % de la pila de combustible, produciendo 108536 kWh/año. Está producción se destina un 70 % para cubrir la demanda mientras que el 30 % se usa en el electrolizador. El exceso de electricidad generado es del 20 %, con una fracción renovable igual a 1. Por otra parte, hay 36,5 kWh/año que no se llegan a cubrir dándose esto es agosto principalmente. A pesar de ello este porcentaje es muy bajo de manera que la instalación funciona correctamente

Production	kWh/yr	%	Consumption	kWh/yr	%	Quantity	kWh/yr	%
PV array	71,738	66	AC primary load	60,189	70	Excess electricity	21,718	20.0
Gasificador	23,814	22	Electrolyzer load	25,794	30	Unmet electric load	36.5	0.1
Pila de combustible	12,983	12	Total	85,983	100	Capacity shortage	60.0	0.1
Total	108,536	100						

Quantity	Value
Renewable fraction	1.00

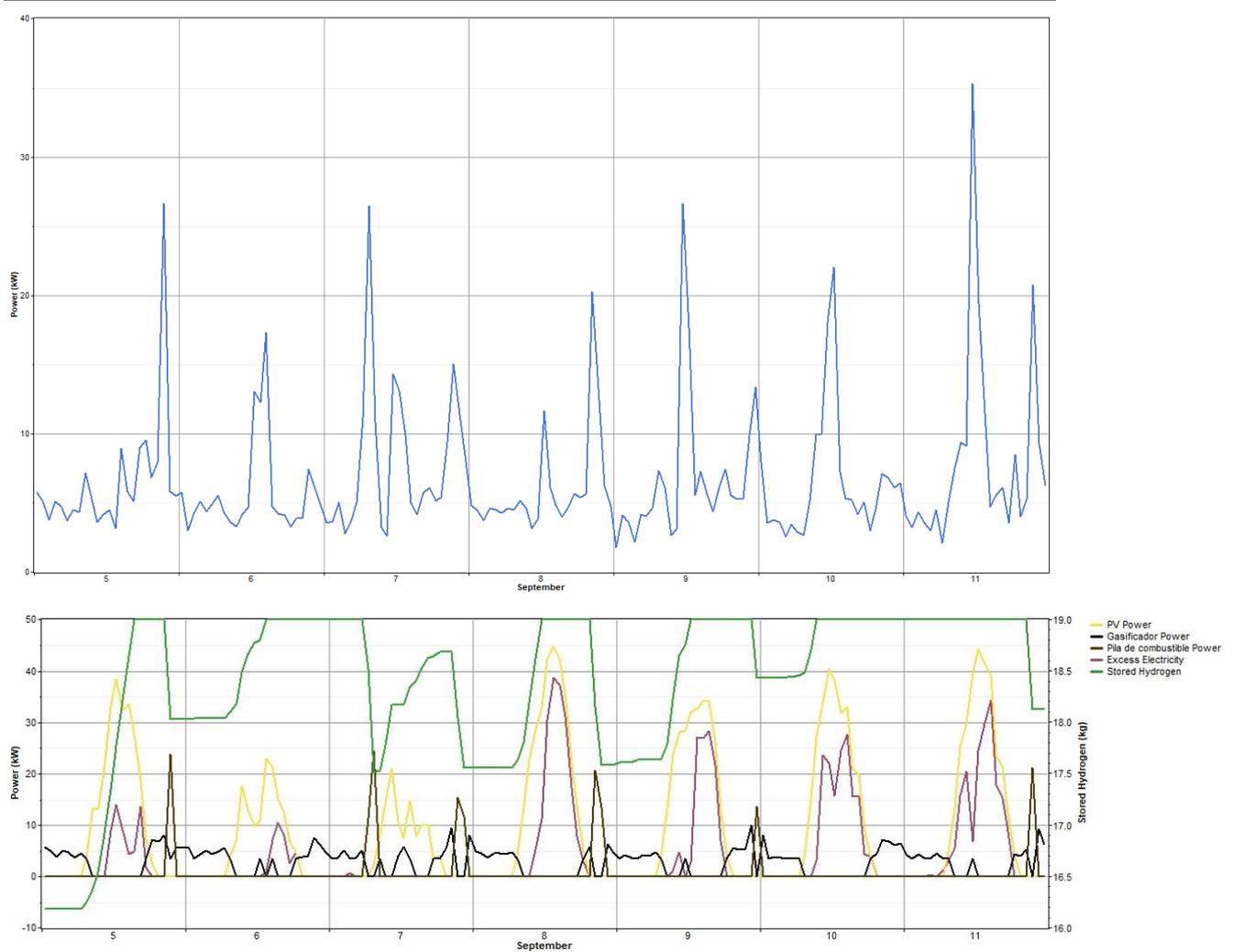
Figura 43. Producción y consumo de energía de la alternativa 3. Fuente: HOMER.



Gráfica 36. Producción media anual de la alternativa 3. Fuente: HOMER.

A continuación, se estudiará el exceso de electricidad. En la gráfica 37 se puede apreciar que el exceso de electricidad se da principalmente durante los picos de producción de las placas ya que dicha electricidad no se consume por el electrolizador y se pierde. Esto ocurre durante los meses de menor demanda, perdiéndose gran parte de la energía producida en las placas.

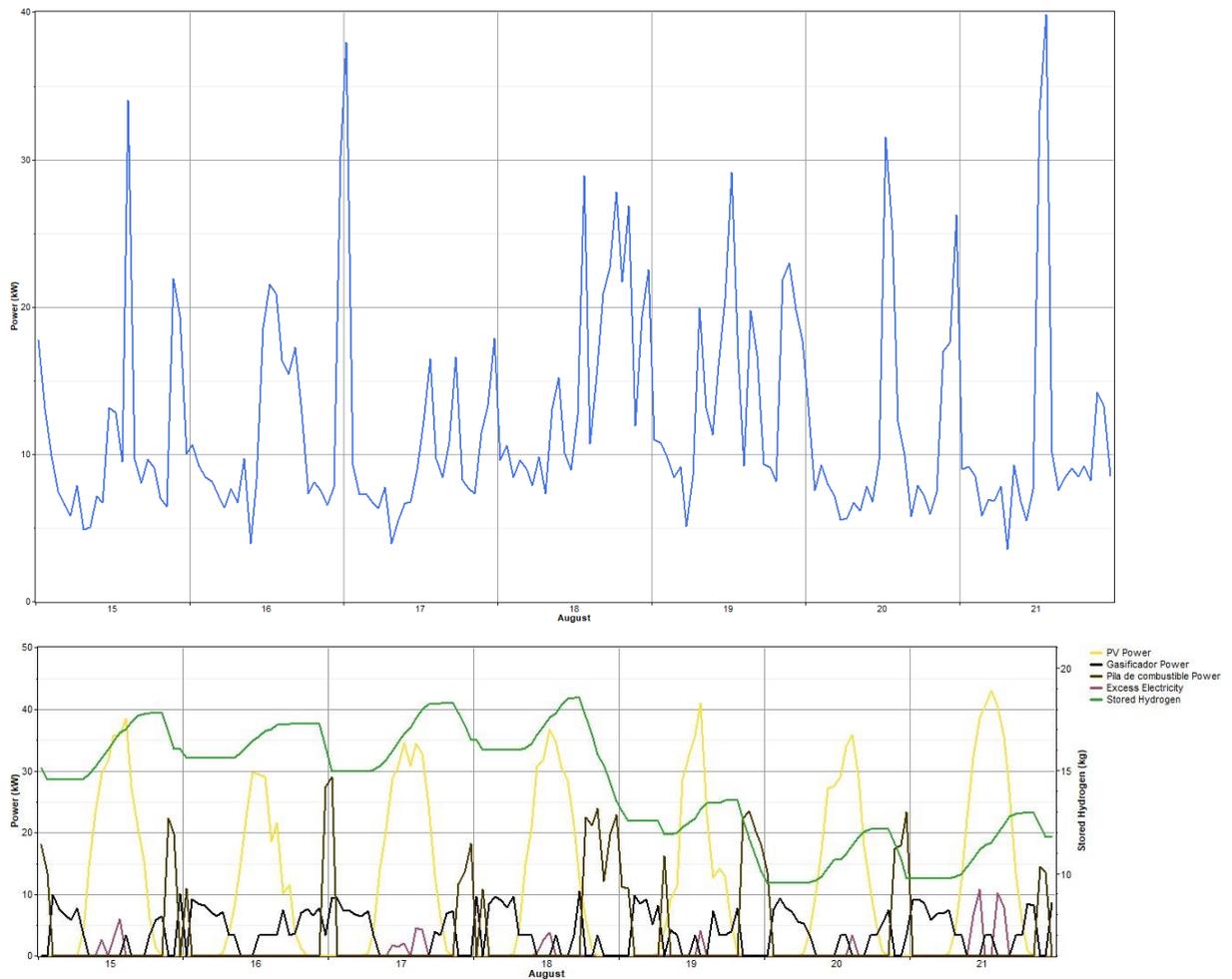
Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)



Gráfica 37. Exceso de electricidad en septiembre. Fuente: HOMER.

Por otra parte, en los meses de mayor demanda (gráfica 38) esta pérdida es mucho menor, dándose también durante los picos de producción de las placas solares, pero en menor cantidad. De estas gráficas se puede apreciar que se cubren los meses con mayor demanda (enero, julio, agosto, noviembre y diciembre) mientras que en el resto de los meses la instalación estaría sobredimensionada. Aun así, se alcanza un valor de exceso del 20 % de manera que es un exceso aceptable. Se puede apreciar también el uso del hidrogeno en los meses de mayor de demanda, como agosto, para poder cubrir la demanda mediante el uso de la pila de combustible. Tanto la pila como el gasificador se utiliza durante la noche para cubrir la demanda cuando las placas solares no generan electricidad, disminuyendo así el nivel de hidrógeno en los tanques durante estos momentos del día.

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)



Gráfica 38. Exceso de electricidad en agosto. Fuente: HOMER.

En cuanto a las emisiones, en la figura se representan siendo éstas debido al gasificador como en la alternativa 1.

Pollutant	Emissions (kg/yr)
Carbon dioxide	5.61
Carbon monoxide	0
Unburned hydrocarbons	0
Particulate matter	0
Sulfur dioxide	0
Nitrogen oxides	0.0000168

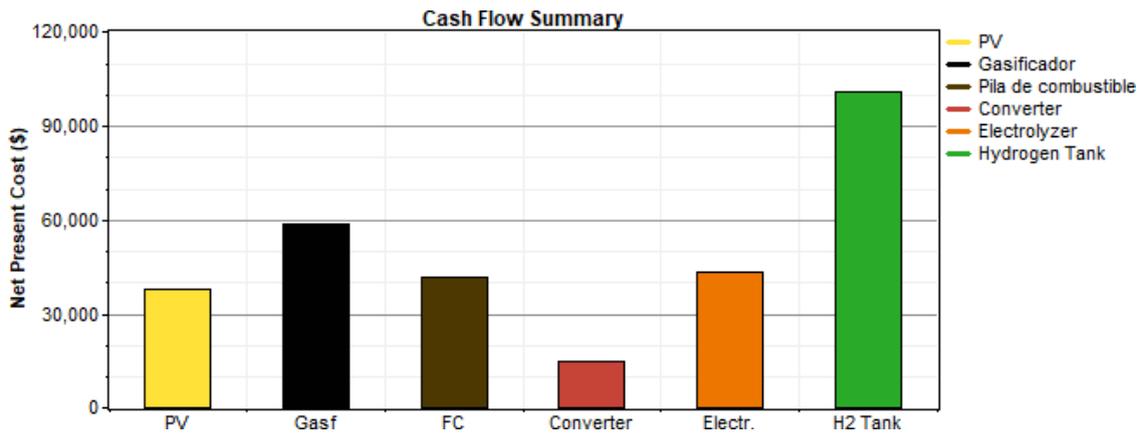
Figura 44. Emisiones de la alternativa 3. Fuente: HOMER.

El precio de la instalación (tabla 26) también aumenta respecto al resto de alternativas. Este aumento se debe principalmente al sistema de hidrógeno, especialmente al almacenamiento. Además, al estar aislado es necesaria mayor potencia y un mayor sistema de almacenamiento de manera que aumenta el precio de la instalación.

Inversión inicial	NPC	COE
208058 €	297016 €	0,386 €/kWh

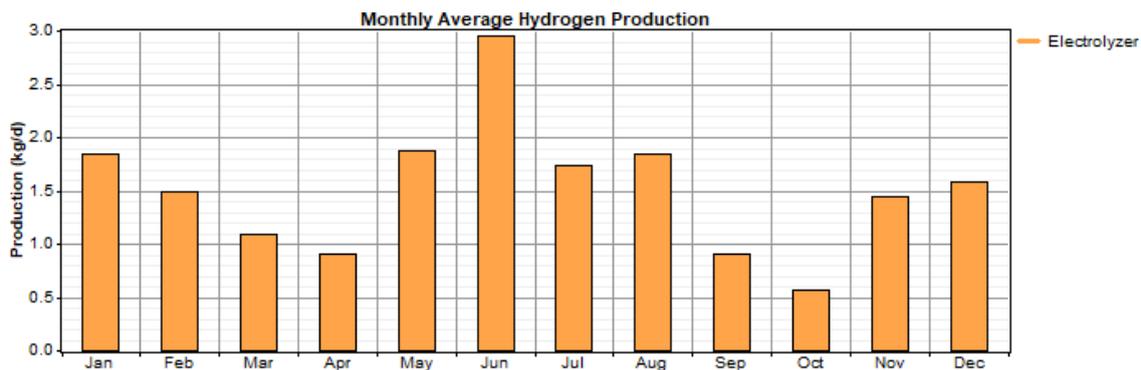
Tabla 26. Costes de la alternativa 3.

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)



Gráfica 39. Coste por componente de la alternativa 3. Fuente: HOMER.

Al analizar el sistema de hidrógeno, se puede ver que los meses de mayor producción coinciden con los meses de mayor producción de electricidad alcanzándose los 556 kg/año. Podemos ver que la producción en marzo, abril, septiembre y octubre es menor, de manera que durante estos meses se cargan los tanques para después poder usarlos en los meses de mayor demanda aprovechando también que en los meses en los que la producción de hidrógeno es mayor también funciona más horas la pila de combustible (gráfica 42).

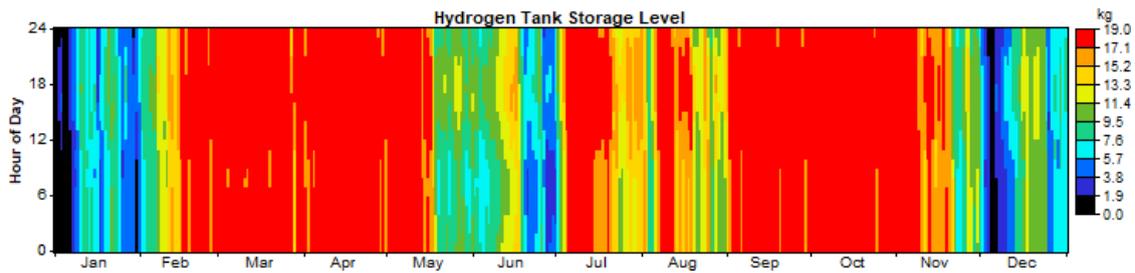


Gráfica 40. Producción media anual de hidrógeno. Fuente: HOMER.

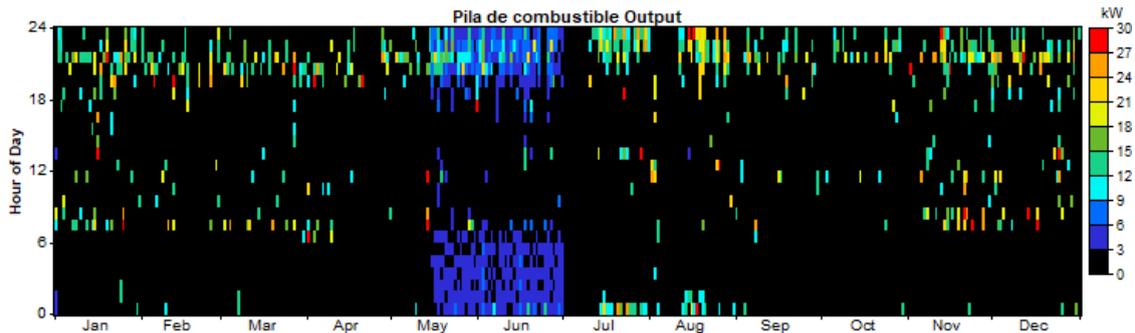
El consumo de hidrógeno es de 551 kg/año de manera que no se consume la totalidad del hidrógeno producido. En las gráficas 41 y 42 se puede ver uno de los problemas relacionados con el exceso de electricidad ya que en los meses de menor demanda (marzo, abril, septiembre y octubre) los tanques están totalmente cargados de manera que el exceso no se puede usar para generar más hidrógeno puesto que ya están cargados. En los meses de mayor demanda la pila de combustible entra en funcionamiento de manera que se usa más hidrógeno permitiendo así el uso de este excedente para generarlo.

De estas gráficas llama la atención que los meses de mayo y junio la pila de combustible trabaja de forma continua mientras que en resto de meses trabaja a más potencia, pero durante ciertos puntos del día, principalmente por la noche. Esto se debe a que durante los meses de mayo y junio el gasificador no está funcionando (gráfica 43) y se usa el hidrógeno almacenado de manera que se puede reducir el excedente durante estos meses consiguiendo cubrir la demanda. De esta forma también se puede reducir la compra de biomasa durante estos meses reduciendo así el precio y las emisiones debidas a su combustión.

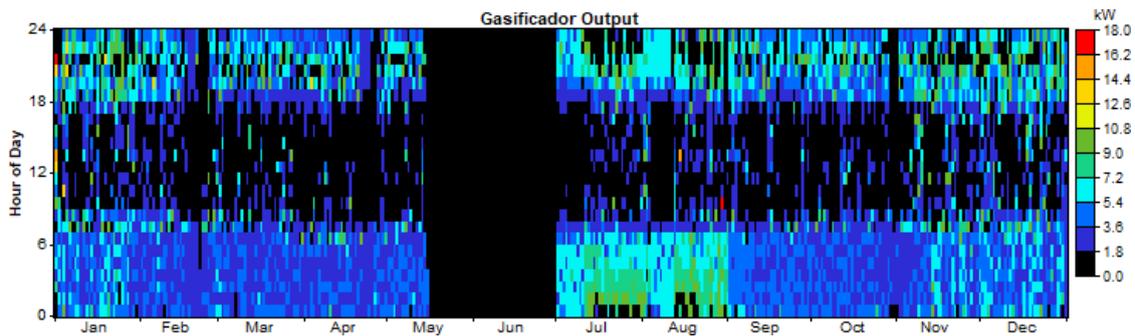
Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)



Gráfica 41. Nivel de almacenamiento en los tanques de hidrógeno. Fuente: HOMER.



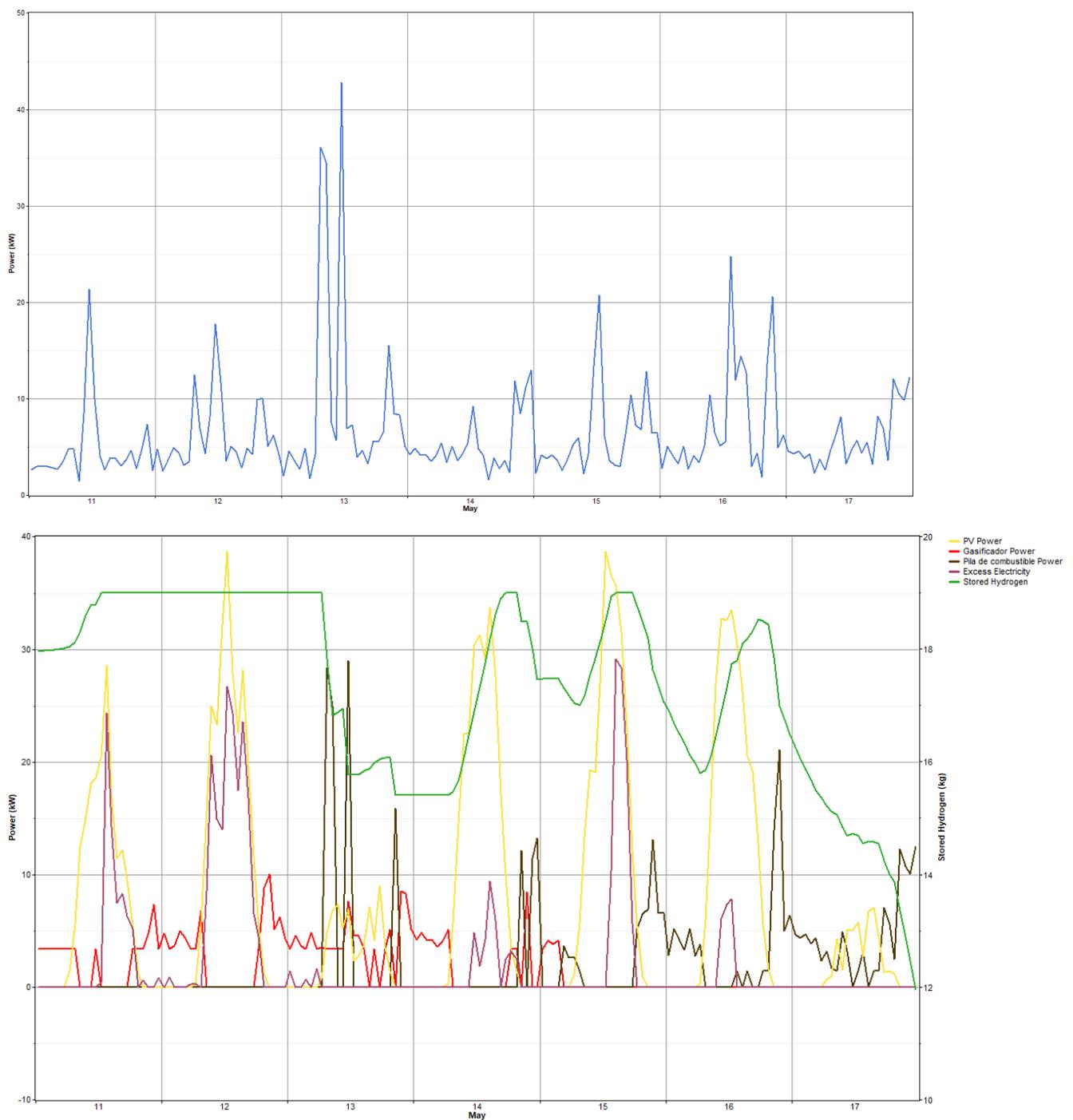
Gráfica 42. Potencia generada por la pila de combustible. Fuente: HOMER.



Gráfica 43. Potencia generada por el gasificador. Fuente: HOMER.

En la gráfica 44 se aprecia el cambio en el funcionamiento de gasificador (color rojo) y la pila de combustible (color negro) que se usa una vez que el gasificador no produce energía. De esta manera se puede observar que las pérdidas (color morado) son menores que en el período con el gasificador conectado ya que no se puede utilizar este excedente para generar hidrógeno puesto que los tanques ya están completos. De esta forma se consigue reducir el exceso manteniendo el precio y usando la pila de combustible. Los días 11 y 12 se pierde mucha de la energía generada en las placas solares, coincidiendo este con los tanques totalmente cargados además de que se trata de días con poca demanda como se ve en la gráfica superior. Mientras que en los días del 14 en adelante la pérdida es menor solo el 15 que se pierde energía coincidiendo con los tanques llenos, pero en adelante este exceso menor aumentando el funcionamiento de la pila por lo que se disminuye el nivel de hidrogeno en los tanques. Al igual que en el resto de las alternativas, tanto gasificador como la pila funcionan en los periodos en los que las placas no generan electricidad.

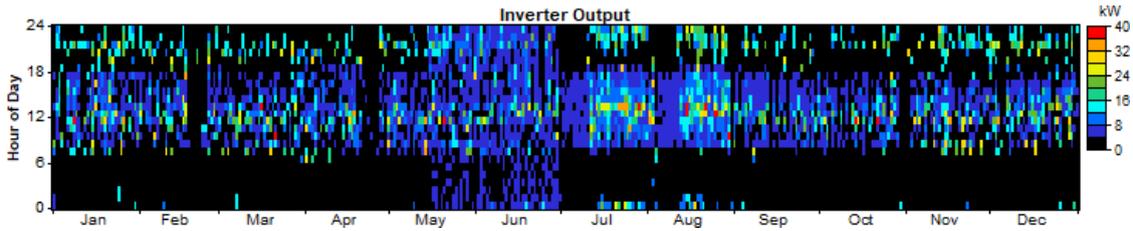
Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)



Gráfica 44. Comparación del exceso de electricidad con gasificador conectado y no conectado. Fuente: HOMER.

En el caso del inversor se observa también este funcionamiento de la pila de combustible, que genera electricidad en corriente continua, de manera que aumenta el trabajo del inversor durante estos dos meses. Este inversor funciona principalmente durante las horas del día cuando funcionan las placas solares. Además, también se puede apreciar su funcionamiento durante la noche que coincide con el uso de la pila de combustible en los periodos sin generación por parte de las placas para cubrir la demanda, comportamiento ya explicado al analizar el exceso.

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)



Gráfica 45. Funcionamiento del inversor. Fuente: HOMER.

En cuanto al funcionamiento de las placas estás trabajan de la misma forma que la explicada en la alternativa 1.

En conclusión, esta alternativa tiene un gran potencial. Sin embargo, al estar en desarrollo el precio es mayor y el almacenamiento es más caro, aunque con esta simulación demuestra que está tecnología, más allá de su coste, es útil y funciona correctamente para cubrir una demanda de este tipo consiguiendo una fracción renovable igual a 1 y reducir las emisiones, sin necesidad de conectarnos a la red.

6.2.4 Alternativa 0: Sistema conectado a red.

Esta alternativa se utilizará para comparar con el resto. En la figura 45, se muestra el coste de la instalación, el cual resulta bastante económico en comparación con los sistemas aislados.

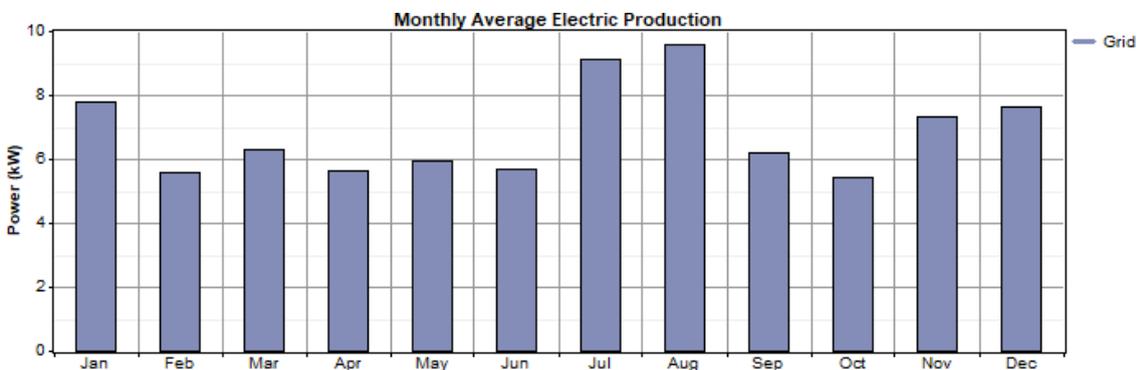
	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
	1000	\$ 0	7,227	\$ 92,385	0.120	0.00

Figura 45. Configuración de la alternativa 0. Fuente: HOMER.

En relación con la producción de energía, en la figura 46 se muestra las pérdidas de energía son nulas ya que se compra a la red la energía que se necesita consumir, como se aprecia en la gráfica 46. En cambio, la fracción renovable sería igual a 0.

Production	kWh/yr	%	Consumption	kWh/yr	%	Quantity	kWh/yr	%
Grid purchases	60,225	100	AC primary load	60,225	100	Excess electricity	0.00	0.00
Total	60,225	100	Total	60,225	100	Unmet electric load	0.00	0.00
						Capacity shortage	0.00	0.00
						Quantity	Value	
						Renewable fraction	0.00	

Figura 46. Producción y consumo de energía de la alternativa 0. Fuente: HOMER.



Gráfica 46. Producción media anual de la alternativa 0. Fuente: HOMER.

Uno de los problemas principales de esta alternativa sería la cantidad de emisiones, como se muestra en la figura 47.

Pollutant	Emissions (kg/yr)
Carbon dioxide	38,062
Carbon monoxide	0
Unburned hydrocarbons	0
Particulate matter	0
Sulfur dioxide	165
Nitrogen oxides	80.7

Figura 47. Emisiones de la alternativa 0. Fuente: HOMER.

6.3 ELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

La elección de la alternativa se hará en función de los criterios explicados en el apartado 5.2. Para ello se compararán las 4 alternativas, evaluándolas y eligiendo la que obtenga mayor puntuación.

6.3.1 Comparación de las alternativas según los criterios ya definidos

Se compararán las 4 alternativas según los distintos criterios.

- **Datos climáticos.**

Todas las alternativas se basan en las mismas fuentes de energía, a excepción de la alternativa 2 donde no se usa biomasa. Cada uno de los datos necesarios son conocidos y fiables, por lo que no existe ningún problema en este aspecto.

- **Criterio económico.**

Como vemos en la tabla 27, la opción más económica es la alternativa 2, seguida de la alternativa 1 y por último la alternativa 3. Dada la cercanía a la red eléctrica la solución conectada a red es la más barata con diferencia, aunque la fracción renovable es menor como se verá a continuación. En cuanto a las alternativas con sistema de almacenamiento de energía, las baterías se tratan de una tecnología ya probada y bastante más barata que el hidrógeno, cuyo precio es mayor.

	Alternativa 0 RED	Alternativa 1 GAS+FV+BAT	Alternativa 2 FV+RED	Alternativa 3 GAS+FV+H₂
Inversión inicial (€)	0	80694	44450	208059
NPC (€)	92385	144865	80876	297016
COE (€/kWh)	0,12	0,188	0,105	0,386

Tabla 27. Comparación de los costes de cada alternativa.

- **Criterio tecnológico.**

En relación con la madurez de la tecnología y la disponibilidad en el mercado, tanto gasificadores de biomasa y placas solares son tecnologías disponibles en el mercado y que ya ofrecen una alta

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)

fiabilidad. Sin embargo, el sistema de hidrógeno es una tecnología poco desarrollada, de ahí su alto precio. A pesar de ello se está estudiando y se estima que el precio disminuya considerablemente, siendo el precio de la pila de combustible y el electrolizador de 760 €/kW en el año 2030 (Figura 27). El principal problema en relación con el precio de esta alternativa sería el almacenamiento que representa el coste más elevado.

En la tabla 28, se compara el exceso de electricidad en cada alternativa. En este caso la alternativa 1 y 2 estarían sobredimensionadas, aunque con un exceso aceptable ya que no supera el 20 %. Como se puede apreciar, el sistema conectado a red es una alternativa donde el exceso es nulo y no estaría sobredimensionado el sistema.

	Alternativa 0 RED	Alternativa 1 GAS+FV+BAT	Alternativa 2 FV+RED	Alternativa 3 GAS+FV+H₂
Exceso de electricidad (%)	0	11,2	0	20

Tabla 28. Comparación del exceso de electricidad en cada alternativa.

- **Criterio medioambiental.**

En la tabla 28 se muestra la fracción renovable de cada alternativa, siendo alta en cada una ellas, aunque menor en la alternativa 2 debido a la conexión a red.

	Alternativa 0 RED	Alternativa 1 GAS+FV+BAT	Alternativa 2 FV+RED	Alternativa 3 GAS+FV+H₂
Fracción renovable	0	1	0,634	1

Tabla 29. Comparación de la fracción renovable en cada alternativa.

En la siguiente tabla se comparan las emisiones de cada alternativa. Se puede apreciar que en las alternativas 1 y 3 emiten menos emisiones, siendo la alternativa 3 menor debido a que se utilizan menos toneladas de biomasa. Basándonos en la emisión de gases contaminantes a la atmósfera, las alternativas con sistema de almacenamiento son aquellas que mejores resultados ofrecen.

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)

	Alternativa 0	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
	RED	GAS+FV+BAT	FV+RED	GAS+FV+H₂
Dióxido de carbono (kg/año)	38062	10	739	5,61
Óxido de nitrógeno (kg/año)	80,7	0,0000305	1,57	0,0000168
Dióxido de azufre (kg/año)	165	0	3,21	0

Tabla 30. Comparación de las emisiones de cada alternativa.

En relación con el impacto en el medioambiente, la alternativa 2 será la que menos impacto genere ya que solo habría que colocar las placas solares. En cambio, en las alternativas 1 y 3 hay que tener en cuenta el gasificador de biomasa y el ruido que genera (ya especificados los dB en el apartado 6.1).

- **Criterio social.**

En relación con la aceptación social de cada alternativa, es posible que el sistema de generación de hidrógeno genere dudas debido a la peligrosidad del hidrógeno. Sin embargo, se trata de una tecnología cada vez más aceptada que no genera ningún problema si se cumplen las medidas necesarias.

En la alternativa 3, al igual que en la alternativa 1, hay que tener en cuenta el gasificador que pueden ser molestos para vecinos que se encuentren muy cerca de la instalación. En cambio, la alternativa 2 está más aceptada socialmente.

6.3.2 Elección final

Una vez comparadas las tres alternativas estudiadas, se puntuará cada alternativa según los criterios, eligiendo aquella que obtenga la puntuación más alta.

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)

	Alternativa 0	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
	RED	GAS+FV+BAT	FV+RED	GAS+FV+H₂
Datos climáticos (15 %)	5	5	5	5
Criterio económico (10 %)	5	4,75	5	4
Criterio tecnológico (20 %)	5	4,5	5	4
Criterio medioambiental (25 %)	0	4,25	3,75	4,5
Criterio social (20 %)	5	4,75	5	4,5
TOTAL (%)	3,25	4,14	4,19	3,98

Tabla 31. Evaluación de cada alternativa.

La opción preferible es la alternativa 2. El problema principal de esta alternativa serían las emisiones, sin embargo, tanto económica, social y tecnológicamente es la mejor solución para una urbanización de estas características.

A pesar de ello, los sistemas híbridos renovables aislados de red también son una solución factible para una urbanización de este tipo consiguiendo reducir las emisiones considerablemente y sin conectarse a la red. Con esta comparación tras simular estas alternativas, los sistemas aislados en una zona cercana a la red pueden ser útiles para reducir las emisiones sin necesidad de usar la red eléctrica.

CAPÍTULO 7. CONCLUSIÓN

En este trabajo se analizan las distintas fuentes de energía disponibles en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante). De esta forma se configuran tres alternativas que permitan abastecer la demanda eléctrica y reducir así las emisiones. Nuestro objetivo principal es comparar dos sistemas aislados de red con diferentes formas de almacenamiento de manera que se consiga una fracción renovable de 1 y, además, otra alternativa usando energía renovable en un sistema conectado a red vendiendo el excedente. Por lo tanto, estas tres configuraciones serían:

- Renovables más baterías - sistema aislado.
- Renovables conectado a red.
- Renovables más sistema de acumulación y generación de energía en forma de hidrógeno – sistema aislado.

Una vez disponemos de los datos meteorológicos y toda la información necesaria en relación con el precio de cada componente necesario, así como la tecnología, se usará el software HOMER que nos permitirá simular el funcionamiento durante un periodo de 25 años y nos facilitará el cálculo del tamaño necesario de cada elemento y el análisis tecno-económico de los sistemas propuestos.

Una vez simulado, en base a unos criterios previamente explicados, se ha elegido aquella configuración que resulta óptima dada las características de la urbanización.

De esta forma, se llega a la conclusión que debido a la facilidad de conexión a red y la tecnología disponible la alternativa basada en energías renovables conectada a red es la opción más recomendable. Sin embargo, los sistemas de almacenamiento también son una solución factible.

Además, de esta forma se puede comparar un sistema basado en hidrógeno para la acumulación y generación de energía para cubrir la demanda eléctrica de una zona residencial. Como se puede ver tras el análisis, esta solución es menos rentable económicamente actualmente, pero se irá desarrollando en el futuro y que tecnológicamente funciona correctamente y se trata de una opción interesante dado su gran potencial.

Otra de las conclusiones que se extraen del trabajo es la poca rentabilidad del uso de aerogeneradores del tamaño especificado en la zona, ya que solo ofrecen una producción considerable en determinados días de invierno sobre todo y dado su alto precio es más rentable el uso de placas más el gasificador. Por ello esta opción solo sería más factible en la alternativa, aunque se aumentaría el precio. En el resto su uso no sería significativo.

Finalmente, se llega a la conclusión que los sistemas aislados basados en energías renovables se podrían usar incluso en una zona cercana a la red. Serían una solución más cara, pero se consigue alcanzar una fracción renovable de 1 reduciendo así las emisiones. Otro problema sería la necesidad de sobredimensionar el sistema, aunque este sobredimensionamiento no supera el 20 % por lo sería una solución factible tanto baterías como el sistema de hidrógeno.

CAPÍTULO 8. BIBLIOGRAFIA

aemet.es. (7 de Mayo de 2020).

apilados.com. (2020). Obtenido de <http://apilados.com/blog/almacenamiento-hidrogeno-comprimido-tipos-tanques/>

Belso, J. M. (2013). *Sostenibilidad agroforestal valenciana*. Valencia: AVEN-IVACE.

bibing.us.es. (2020). Obtenido de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/30127/fichero/Cap%C3%ADtulo+3+-+Electrolizadores.pdf>

ceh.cedex.es. (2020). Obtenido de <https://ceh.cedex.es/anuarioaforos/default.asp>

ec.europa.eu. (7 de Mayo de 2020). Obtenido de <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>

elperiodicodelaenergia.com. (24 de 2 de 2016). Obtenido de <https://elperiodicodelaenergia.com/la-energia-geotermica-permitiria-un-ahorro-de-500-000-toneladas-de-co2-al-ano-en-alicante/>

energias-renovables.com. (2014 de Diciembre de 2014). *energias-renovables.com*. Obtenido de <https://www.energias-renovables.com/biomasa/la-biomasa-tambien-mueve-el-reciclaje-de-20141201>

EnergyPlus. (2016). *Weather Data*. Recuperado el 20 de October de 2016, de <https://energyplus.net/weather>

fusionenergiasolar.es. (2020). Obtenido de <https://fusionenergiasolar.es/fotovoltaica/598-inversor-hibrido-kostal-plenticore-plus10.html>

h2planet.eu. (2020). Obtenido de https://www.h2planet.eu/es/detail/hypem_xp_home_4

holtz-kraft.com. (2020). Obtenido de <https://www.holz-kraft.com/de/produkte/hka-10.html>

meteoblue.com. (2020).

monsolar.com. (2020). Obtenido de <https://www.monsolar.com/placa-solar-jinko-cheetah.html>

Mundo, E. (27 de Diciembre de 2011). *Inauguran en Crevillent la primera planta de biomasa a partir de cáscaras de almendra*.

tecnosolab.com. (s.f.). Obtenido de <https://tecnosolab.com/tecnosol/biomasa>

Traxco. (5 de Enero de 2010). *www.traxco.es*. Obtenido de <https://www.traxco.es/blog/productos-nuevos/generar-energia-electrica-con-el-agua>

twenergy.com. (2020). Obtenido de <https://twenergy.com/eficiencia-energetica/ayudas-y-subsidios/la-red-electrica-998/>

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)

- upcommons.upc.edu.* (2020). Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3005/54870-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- vision-batt.com.* (2020). Obtenido de http://www.vision-batt.com/site/product_files/6FM200D-X.pdf
- www.areatecnologia.com.* (2020). Obtenido de <https://www.areatecnologia.com/electricidad/inversor-fotovoltaico.html>
- www.ariema.com.* (2020). Obtenido de <http://www.ariema.com/hidrogeno/ariema-equipos-e-instalaciones-h2/electrolizadores>
- www.ballard.com.* (2020). Obtenido de https://www.ballard.com/about-ballard/publication_library/product-specification-sheets/fcvelocity-md30-spec-sheet
- www.boe.es.* (s.f.). Obtenido de <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2019-5089>
- www.cnh2.es.* (2020). Obtenido de <https://www.cnh2.es/pilas-de-combustible/>
- www.enair.es.* (2020). Obtenido de <https://www.enair.es/es/>
- www.mpptsolar.com.* (2020). Obtenido de <https://www.mpptsolar.com/es/esquema-funcionamiento-inversor.html>
- www.ree.es.* (2020).
- www.sc.ehu.es.* (2020). Obtenido de <http://www.sc.ehu.es/>
- www2.elo.utfsm.cl.* (2020). Obtenido de <http://www2.elo.utfsm.cl/~elo383/apuntes/PresentacionBaterias.pdf>

PRESUPUESTO

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado
con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de
hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)

PRESUPUESTO Página 2

Presupuesto parcial nº 2 Análisis de la ubicación

Num. Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
2.1 2.1	h	Estudio del municipio y la urbanización	1,000	70,00	70,00
2.2 2.2	h	Redacción y edición de textos	1,000	105,00	105,00
Total presupuesto parcial nº 2 Análisis de la ubicación :					175,00

PRESUPUESTO Página 5

Presupuesto parcial nº 5 Análisis tecno-económico mediante HOMER

Num. Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
5.1 5.1	h	Introducción de datos en el programa	1,000	1.225,00	1.225,00
5.2 5.2	h	Planteamiento de las configuraciones	1,000	700,00	700,00
5.3 5.3	h	Redacción y edición de textos	1,000	1.225,00	1.225,00
5.4 5.4	h	Estudio de los costes de la instalación	1,000	525,00	525,00
Total presupuesto parcial nº 5 Análisis tecno-económico mediante HOMER :					3.675,00

PRESUPUESTO Página 6

Presupuesto parcial nº 6 Estudio de los resultados obtenidos

Num. Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
6.1 6.1	h	Análisis de los resultados obtenidos	1,000	700,00	700,00
6.2 6.2	n	Comparación de resultados, análisis y conclusiones	1,000	1.050,00	1.050,00
6.3 6.3	h	Redacción y edición de textos	1,000	1.050,00	1.050,00
Total presupuesto parcial nº 6 Estudio de los resultados obtenidos :					2.800,00

Análisis de diferentes configuraciones de sistemas renovables híbridos combinado
con un sistema para la generación y acumulación de energía en forma de
hidrógeno en la urbanización San Isidro (Aspe, Alicante)

Proyecto: PRESUPUESTO

Capítulo

Capítulo 1 Análisis de la demanda	1.355,00
Capítulo 2 Análisis de la ubicación	175,00
Capítulo 3 Estudio de los recursos energéticos de la zona	1.120,00
Capítulo 4 Selección de equipos	2.475,00
Capítulo 5 Análisis tecno-económico mediante HOMER	3.675,00
Capítulo 6 Estudio de los resultados obtenidos	2.800,00
Capítulo 7 Análisis de la tecnología disponible	1.225,00
Presupuesto de ejecución material	12.825,00
15% de gastos generales	1.923,75
6% de beneficio industrial	769,50
Suma	15.518,25
21% IVA	3.258,83
Presupuesto de ejecución por contrata	
18.777,08	

Asciende el presupuesto de ejecución por contrata a la expresada cantidad de DIECIOCHO MIL SETECIENTOS SETENTA Y SIETE EUROS CON OCHO CÉNTIMOS.