



## Trabajo Fin de Grado

Análisis de energías renovables para el  
autoabastecimiento de una vivienda aislada y ACS a  
través de la biomasa

ANEXOS

TOMO 2/2

Autor/es

Jorge Lecina Sayas

Director/es

Jesús Sergio Artal Seví

José Luis Bernal Agustín

Universidad de Zaragoza/EINA

2014

## **ÍNDICE ANEXOS**

<b>ANEXO 1. PROTOCOLO DE KIOTO.</b> .....	1
<b>ANEXO 2. ENERGÍAS RENOVABLES Y ELEMENTOS MÁS UTILIZADOS</b> .....	4
1. Energía solar térmica.....	4
2. Energía solar fotovoltaica .....	9
3. Energía eólica.....	11
4. Energía de la biomasa .....	14
<b>ANEXO 3: ACS</b> .....	18
1. Datos relativos al consumo .....	18
2. Calculo de superficie colectora.....	20
3. Cálculos técnicos y justificación.....	21
4. Esquema de la instalación .....	25
<b>ANEXO 4: PROYECTO DE POSTGRADO</b> .....	27
1. Objetivos .....	27
2. Determinación de los consumos a satisfacer, características de la energía demandada. ..	28
3. Recurso fotovoltaico y dimensionamiento de la instalación.....	32
4. Recurso eólico y dimensionamiento de la instalación .....	39
5. Otras fuentes de energía: diesel u otras.....	46
6. Almacenamiento energético.....	46
7. Posibilidad de conexión a red .....	46
8. Conclusiones .....	47
<b>ANEXO 5: RESULTADOS SIMULACIONES</b> .....	49
Caso 1: Sistema aislado solo con fotovoltaica para alimentar una carga eléctrica. ....	50
Caso 2: Sistema híbrido de fotovoltaica y grupo electrógeno para carga eléctrica.....	52
Caso 3: Sistema híbrido de aerogenerador y generador para carga eléctrica.....	55
Caso 4: Sistema híbrido de aerogenerador, fotovoltaica y grupo electrógeno para carga eléctrica. ....	59
Caso 5: Sistema híbrido de aerogenerador, fotovoltaica y grupo electrógeno para carga eléctrica y ACS.....	61
Caso 6: Sistema fotovoltaico para carga eléctrica y ACS.....	66
Caso 7: Sistema eólico y generador para carga eléctrica y ACS. ....	67
Caso 8: Sistema con grupo electrógeno para carga eléctrica y ACS. ....	69
Caso 9: Sistema fotovoltaico para ACS. ....	72
Caso 10: Sistema eólico y fotovoltaico para ACS. ....	73
Caso 11: Sistema eólico, fotovoltaica y generador para ACS.....	75
<b>ANEXO 6: FICHAS TÉCNICAS</b> .....	80
1. Aerogenerador Whisper 500 .....	80
2. Batería Trojan L16P.....	81
3. Colector solar de tubos de vacío U PIPE.....	82
4. Módulo fotovoltaico de 250 Wp.....	83
5. Caldera de biomasa bioclass 9 kW. ....	84

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1 . Evolución de las emisiones en los últimos años.....	2
Figura 2. Composición de un colector de placa plana.....	4
Figura 3. Tubo de vacío.....	6
Figura 4. Composición de un colector de tubo de vacío .....	6
Figura 5.Funcionamiento de un tubo de vacío heat pipe.....	7
Figura 6. Unión tubo de vacío con la carcasa. ....	7
Figura 7. Elementos de un panel fotovoltaico.....	10
Figura 8.Módulo fotovoltaico monocristalino. ....	10
Figura 9. Módulo fotovoltaico policristalino. ....	11
Figura 10. El aerogenerador y sus componentes.....	12
Figura 11. Tipos de biomasa.....	15
Figura 12. Caldera de pellets.....	15
Figura 13. Necesidades y ahorros. ....	20
Figura 14. Colector de tubos de vacío seleccionado y características. ....	21
Figura 15. Interacumulador de 200 L con doble serpentín. ....	22
Figura 16. Proporción en % volumen de caloportador respecto a la T <sup>a</sup> de congelación.....	24
Figura 17. Esquema de la instalación.....	25
Figura 18. Esquema de la instalación eólica-fotovoltaica. ....	27
Figura 19. Representación gráfica de la radiación del lugar.....	34
Figura 20. Configuración placas fotovoltaicas en paralelo. ....	36
Figura 21. Repartición por bines de velocidad.....	41
Figura 22.Distribución de viento.....	41
Figura 23.Curva de potencia Whisper 500.....	43
Figura 24. Configuración en serie-paralelo de las baterías. ....	46
Figura 25. Entrada de valores fotovoltaicos. Valores de potencia de entrada en un rango de 4-6 kW. A la derecha aparece la curva de costes. ....	49
Figura 26. Entrada del convertidor. Se introducen varias potencias para una simulación más completa. ....	49
Figura 27. Entrada de las baterías. ....	50
Figura 28. Resultados de simulación 1. Aparece una gran variedad de resultados que se ordenan de forma creciente respecto al precio del kWh .....	51
Figura 29. Resumen de costes simulación 1. El precio de las baterías supone más del 60% del coste total.....	51
Figura 30. Datos eléctricos del sistema 1. Mayores valores de producción eléctrica para los meses de primavera y otoño. Esto se debe a que en estas épocas la temperatura del ambiente es óptima para los módulos fotovoltaicos (20-25°C). ....	51
Figura 31. Datos de salida fotovoltaica caso 1.....	52
Figura 32. Estado de las baterías caso 1.....	52
Figura 33.Entrada del generador caso 2. Se introducen varios valores de potencia de entrada para que el software encuentre el más óptimo. ....	53

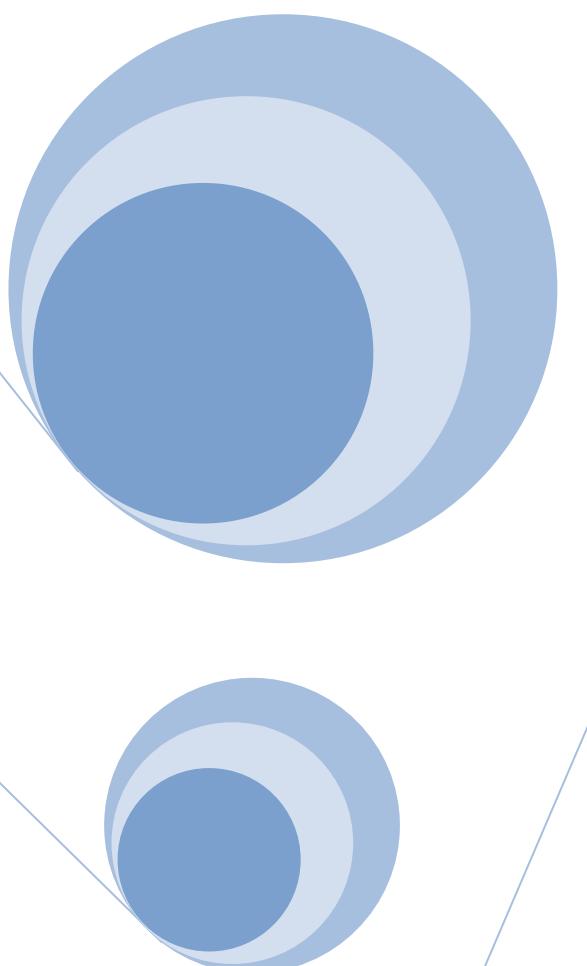
Figura 34.Resultados de simulación 2. El sistema con grupo electrógeno resulta más económico pese a que generalmente incrementa los costes. Esto se debe a que la utilización de grupo electrógeno de apoyo disminuye la dependencia del sistema de acumulación, lo que conlleva a un menor gasto.....	53
Figura 35. Resumen de costes simulación 2. En este caso las baterías suponen un 50% del precio del sistema.....	54
Figura 36. Datos eléctricos caso 2. Mayor utilización del grupo electrógeno en verano y algunos meses de invierno.....	54
Figura 37. Estado de las baterías caso 2. Se observa que las baterías sufren descargas de hasta el 70%, por lo tanto no es muy recomendable este sistema. ....	54
Figura 38. Emisiones caso 2.....	55
Figura 39. Entrada aerogenerador. A la derecha aparece la curva de potencia del aerogenerador y debajo la curva de costes. ....	56
Figura 40. Resultados simulación 3. Se presentan 3 sistemas, uno con solo aerogenerador, otro solo con grupo electrógeno y el último un híbrido eólico-generador. Este último tiene un coste más económico que los otros, debido especialmente a que es más estable y por lo tanto se necesita una capacidad de almacenamiento de energía menor. ....	56
Figura 41. Resumen de costes simulación 3. El aerogenerador será el elemento más costoso en este caso.....	57
Figura 42. Datos eléctricos caso 3. Mayor uso de grupo electrógeno en los meses de marzo, septiembre y octubre. ....	57
Figura 43. Datos de salida eólica caso 3. Representación gráfica de la potencia de salida del aerogenerador. Las zonas coloreadas de color rojo son los picos de máxima potencia de salida, mientras que el negro es el de menor potencia. ....	57
Figura 44. Datos de salida generador caso 3. El color rojo indica picos de máxima potencia de salida.....	58
Figura 45. Estado de las baterías caso 3. Sistema más estable con menor cantidad de profundas descargas de las baterías.....	58
Figura 46. Emisiones caso 3.....	58
Figura 47. Resultados simulación 4. El sistema sin electrógeno resulta más económico, pero es mejor utilizar un sistema con apoyo. ....	59
Figura 48. Resumen costes simulación 4. El 75% del coste de la instalación es del aerogenerador y las baterías.....	60
Figura 49. Datos eléctricos caso 4. Se observa un pico de producción eléctrica en febrero. El mes de febrero produce el doble de electricidad que en octubre. ....	60
Figura 50. Estado de las baterías caso 4. Como se puede ver, el estado de carga de las baterías es muy estable. ....	60
Figura 51. Emisiones caso 4.....	61
Figura 52. Resultados simulación caso 5. ....	62
Figura 53. Resumen costes de simulación caso 5 sin electrógeno. El coste de las baterías es el predominante frente a los otros elementos. ....	62
Figura 54. Datos eléctricos caso 5 sin electrógeno. Se observa un pico de producción eléctrica en febrero.....	63

Figura 55. Estado baterías caso 5 sin electrógeno. Se aprecia una ligera probabilidad de una descarga de las baterías de más del 60%.....	63
Figura 56. Emisiones caso 5 sin electrógeno. ....	63
Figura 57. Resumen costes caso 5.....	64
Figura 58. Datos eléctricos caso 5.....	64
Figura 59. Estado de las baterías caso 5. Al incluir grupo electrógeno, las baterías apenas se descargarán un 30%.....	65
Figura 60. Emisiones caso 5.....	65
Figura 61. Introducción de carga de ACS. A la izquierda aparece una distribución de las cargas en cada hora del día, en el centro, una representación gráfica de las cargas repartidas. ....	65
Figura 62. Resumen costes caso 6. Coste de las baterías de aproximadamente un 80% del total.....	66
Figura 63. Datos eléctricos caso 6.....	66
Figura 64. Estado de las baterías caso 6. Se dan situaciones en las que se descargan las baterías más de lo aconsejable. ....	67
Figura 65. Resultados simulación caso 7 muestra tres sistemas, siendo el eólico con generador el más rentable.....	68
Figura 66. Resumen costes caso 7. Los costes del aerogenerador son superiores que el de las baterías. ....	68
Figura 67. Datos eléctricos caso 7.....	68
Figura 68. Estado de las baterías caso 7.....	69
Figura 69. Emisiones.....	69
Figura 70. Resultados de simulación caso 8. ....	70
Figura 71. Resumen de costes caso 8. El coste del generador supone un 80% de la inversión total.....	70
Figura 72. Datos eléctricos caso 8.....	71
Figura 73. Estado de las baterías caso 8. En la grafica se observa que la carga de las baterías siempre está por debajo del 80% de la carga total. ....	71
Figura 74. Emisiones caso 8.....	71
Figura 75. Resultados de simulación caso 9. ....	72
Figura 76. Resumen costes caso 9. El precio de las baterías es muy superior que el de los módulos fotovoltaicos. (25.000\$ frente a 2200\$). ....	72
Figura 77. Datos eléctricos caso 9.....	73
Figura 78. Estado de las baterías caso 9.....	73
Figura 79. Resultados de la simulación 10.....	74
Figura 80. Resumen costes caso 10.....	74
Figura 81. Datos eléctricos caso 10.....	74
Figura 82. Estado de las baterías caso 10. El estado de las baterías la mayor parte del tiempo será del 100%. Esto indica que es probable que se produzcan sobrecargas.....	75
Figura 83.Resultados simulación caso 11. ....	76
Figura 84. Resumen costes caso 11.....	76
Figura 85. Datos eléctricos caso 11.....	77

Figura 86. Estado de las baterías caso 11. Sucede lo mismo que el caso anterior. Las baterías sufrirán una sobrecarga debido a que hay superproducción de electricidad. .... 77

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Otros tipos de colectores. ....	9
Tabla 2. Savonius, Giromill y Darrieus respectivamente.....	13
Tabla 3. Características de los biocombustibles y del gasóleo. ....	16
Tabla 4. Relación dormitorios/nº personas.....	18
Tabla 5. Demanda de agua a 60°C. ....	18
Tabla 6. Necesidades del sistema de ACS. ....	19
Tabla 7. Demanda cubierta con colectores solares. ....	19
Tabla 8. Metros de tubería y diámetro optimizados.....	22
Tabla 9. Consumos a satisfacer en la vivienda.....	29
Tabla 10.Cantidad diaria de energía necesaria para suministrar a los consumos. ....	30
Tabla 11. Cargas repartidas durante todo el día. ....	31
Tabla 12. Datos de radiación solar para las coordenadas de la instalación.....	33
Tabla 13.Radiación incidente con el factor de corrección k para 52º de inclinación.....	34
Tabla 14. Relación consumos y radiación para el método del mes peor. ....	35
Tabla 15.Radiación incidente para el método de dos inclinaciones.....	38
Tabla 16.Relación consumos radiación para el método de dos inclinaciones. ....	38
Tabla 17. Repeticiones para cada velocidad comprendido entre 2006 y 2009. ....	40
Tabla 18. Parámetros de Weibull. ....	42
Tabla 19.Datos de la curva de potencia Whisper 500. ....	42
Tabla 20. Producción para cada año estudiado. ....	44
Tabla 21.Producción media anual. ....	45



## ANEXO I

# PROTOCOLO DE KIOTO

Breve introducción de la convención de las Naciones Unidas que tuvo lugar en Kioto sobre el problema del calentamiento global y la emisión de gases invernadero.

**Jorge Lecina Sayas**

## ANEXO 1. PROTOCOLO DE KIOTO.

El Protocolo de Kioto sobre el cambio climático es un protocolo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), y un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), gas metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), además de tres gases industriales fluorados: hidrofluorocarburos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), en un porcentaje aproximado de al menos un 5 %, dentro del periodo que va de 2008 a 2012, en comparación a las emisiones a 1990. Por ejemplo, si las emisiones de estos gases en 1990 alcanzaban el 100 %, para 2012 deberán de haberse reducido como mínimo al 95 %. Esto no significa que cada país deba reducir sus emisiones de gases regulados en un 5 % como mínimo, sino que este es un porcentaje a escala global y, por el contrario, cada país obligado por Kioto tiene sus propios porcentajes de emisión que debe disminuir la contaminación global. El protocolo fue inicialmente adoptado el 11 de diciembre de 1997 en Kioto, Japón, pero no entró en vigor hasta el 16 de febrero de 2005. En noviembre de 2009, eran 187 estados los que ratificaron el protocolo. Estados Unidos, mayor emisor de gases de invernadero mundial, no ha ratificado el protocolo.

El instrumento se encuentra dentro del marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), suscrita en 1992 dentro de lo que se conoció como la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro. El protocolo vino a dar fuerza vinculante a lo que en ese entonces no pudo hacer la CMNUCC.

Muchas son las fuentes que indican que el protocolo de Kioto no se ha llegado a cumplir por parte de algunos países, y los datos climatológicos lo corroboran. La temperatura media del planeta continua aumentando conforme pasan los años, los glaciares del ártico y de la Antártida siguen en continuo proceso deshielo y el consumo de combustibles fósiles no deja de aumentar.

En España la producción de CO<sub>2</sub> ha disminuido en los últimos años gracias al incremento del uso de las renovables, además la crisis económica también ha paralizado a la industria y eso también se ve reflejado en la producción de gases invernadero.

La siguiente figura ilustra la emisión de gases invernadero de tres países de la Unión Europea en los últimos 50 años:

## 5,79 toneladas métricas (2010)

España, Emisiones de CO2 per cápita

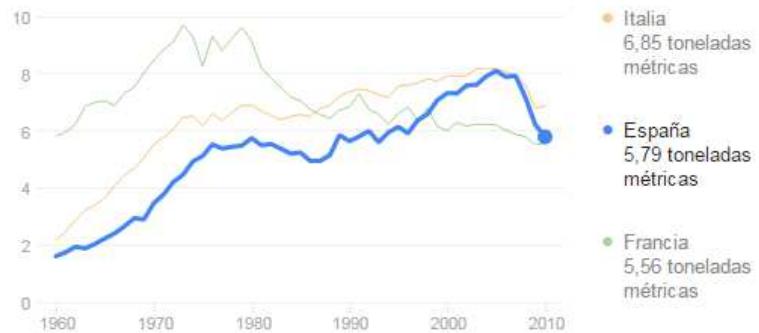


Figura 1 . Evolución de las emisiones en los últimos años.

El último año ha habido un endurecimiento en la legislación de la fotovoltaica, haciendo más difícil la inversión en este sector, que se verá reflejado en un aumento de las emisiones de gases invernadero en los próximos años.

## ANEXO II

# ENERGÍAS RENOVABLES Y ELEMENTOS MÁS UTILIZADOS

A continuación se va a realizar un estudio acerca de las energías renovables y de los elementos más empleados en la actualidad. También se va a describir con mayor profundidad los elementos utilizados en el proyecto.

Jorge Lecina Sayas

# ANEXO 2. ENERGÍAS RENOVABLES Y ELEMENTOS MÁS UTILIZADOS.

A continuación se va a realizar un estudio acerca de las energías renovables y de los elementos más empleados en la actualidad. También se va a describir con mayor profundidad los elementos utilizados en el proyecto.

## 1. Energía solar térmica

La energía solar térmica o energía termosolar consiste en el aprovechamiento de la energía del sol para producir calor que puede aprovecharse para cocinar alimentos o para la producción de agua caliente destinada al consumo de agua doméstico, ya sea agua caliente sanitaria, calefacción, o para producción de energía mecánica y, a partir de ella, de energía eléctrica. Adicionalmente puede emplearse para alimentar una máquina de refrigeración por absorción, que emplea calor en lugar de electricidad para producir frío con el que se puede acondicionar el aire de los locales.

Los colectores de energía solar térmica están clasificados como colectores de baja, media y alta temperatura. Los colectores de baja temperatura generalmente son placas planas usadas para calentar agua. Los colectores de temperatura media también usualmente son placas planas usadas para calentar agua o aire para usos residenciales o comerciales. Los colectores de alta temperatura concentran la luz solar usando espejos o lentes y generalmente son usados para la producción de energía eléctrica. La energía solar térmica es diferente y mucho más eficiente que la energía solar fotovoltaica.

### 1.1. Colector solar plano

A continuación se muestra una imagen de la composición de un colector de placa plana y la función de cada uno de ellos:

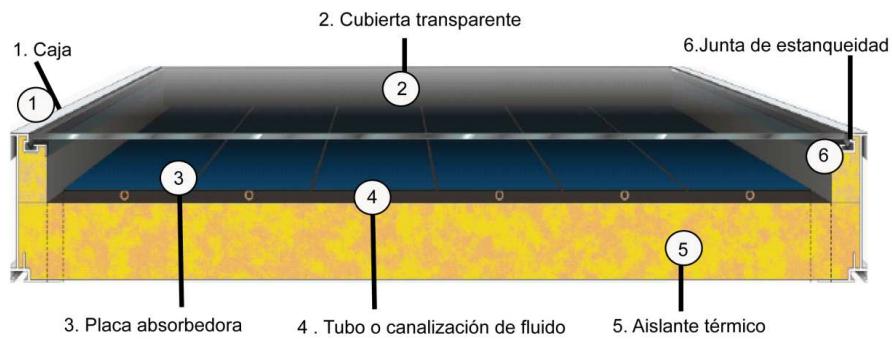


Figura 2. Composición de un colector de placa plana.

- Caja: Su principal función es de proteger y soportar todos los elementos que se encuentra formado el captador.
- Cubierta transparente: Los materiales normalmente utilizados son el vidrio y el plástico. Al utilizar una cubierta de vidrio transparente, reduciríamos las perdidas por convección sobre el absorbente, procurando el efecto invernadero. Se debe tener en consideración que el material sea bajo en sales de hierro para tener mejor coeficiente de trasmisión de la radiación. Uno de los problemas del uso de este material es su fragilidad en romperse por los cambios bruscos de temperatura o por algún agente externo.
- Muchos colectores fabricados industrialmente vienen con una cubierta de plásticos, entre ellos están los policarbonatos. Muchos plásticos sufren por el paso de tiempo deterioros, lo que provoca un descenso del rendimiento del colector. Considerando sus propiedades mecánicas, tiene mala conductividad térmica, alto coeficiente de dilatación, liviano, entre otras.
- Placa Absorbedora: En muchos casos se trata de una plancha metálica de color negro que recibe la radiación solar, la transforma en calor y la transmite al fluido caloportador. Para captadores solares que no realizan efecto invernadero se utilizan absorbedores de plásticos.
- Tubo o canalización del fluido: El sistema de canalización del fluido puede estar formado por una parrilla de tubos y dos colectores que constituyen los conductos de distribución o en su caso solamente compuesto por un tubo en forma de serpentín.
- Aislante térmico: Entre el conjunto formado por el absorbedor, el conducto del fluido y la carcasa del colector, se dispondrá una plancha termo-aislante que minimice las perdidas térmicas en su parte posterior. Los aislantes más comunes son los de fibra de vidrio.

## 1.2. Colector de tubo de vacío

Este tipo de colectores más modernos se utilizan en instalaciones donde se trabaja con temperaturas superiores a 45 grados centígrados. Se trata de un cilindro de vidrio que tiene dos superficies cilíndricas, con un eje de simetría común, entre las que se ha hecho el vacío. El tubo está abierto por un extremo y cerrado por el otro, siendo una pieza única y totalmente estanca en su interior.



Figura 3. Tubo de vacío.

Las ventajas que tiene este tipo de colector son:

- Las pérdidas de calor por convección o conducción desaparecen.
- Las posibles pérdidas por radiación se reducen al recubrir el tubo de vacío interiormente con una capa de aluminio y nitrógeno.
- La geometría cilíndrica del tubo permite, no sólo el mayor aprovechamiento de la radiación solar, sino también de la radiación difusa del entorno y de la parte posterior de la instalación, así como una mejor captación de la radiación que se recoge a primera y última hora de la tarde.
- Alto rendimiento de absorción: Los tubos de vacío por su elevado aislamiento con el exterior limitan las pérdidas térmicas. Esto hace que para una misma ubicación, un sistema de tubos de vacío alcanzará mayores temperaturas que un sistema con captadores planos.

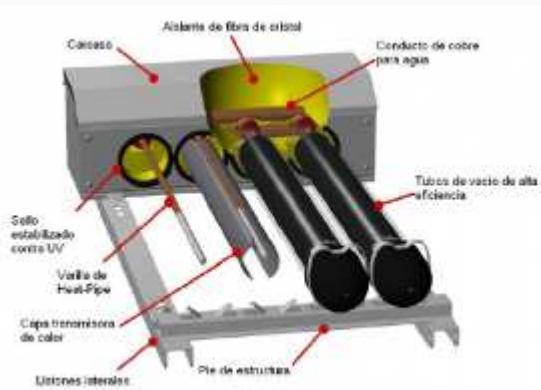


Figura 4. Composición de un colector de tubo de vacío.

Principalmente existen tres principios de funcionamiento:

1. Heat pipe o tubo superconductor de calor: Consiste en un tubo cerrado por ambos extremos con un alcohol en su interior. Al calentarse este alcohol se evapora absorbiendo gran cantidad de energía, y en estado gaseoso asciende hasta el extremo superior.



Figura 5. Funcionamiento de un tubo de vacío heat pipe.

Este extremo tiene contacto térmico con el fluido caloportador al que le cede la energía absorbida a lo largo del tubo, condensándose entonces y volviendo a descender por el tubo para repetir el ciclo.

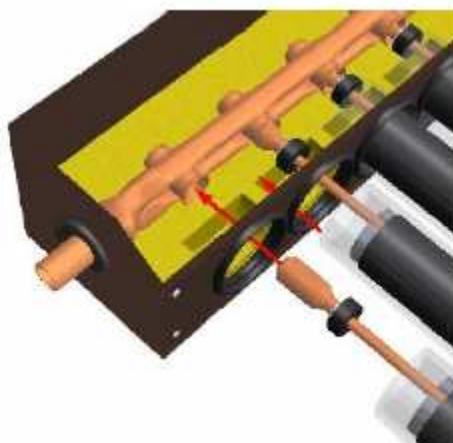


Figura 6. Unión tubo de vacío con la carcasa.

Los tubos de vacío son dos tubos concéntricos de vidrio de alta resistencia entre los que hay vacío. Así se evitan las nefastas pérdidas de calor por conducción entre otros efectos negativos.

- Superconductores de calor. El calor captado a lo largo del tubo llega al condensador superior miles de veces más rápido que en el caso de conducción por cobre.
  - Ciclo evaporación/condensación.
  - Aislamiento por capa de vacío entre dos de vidrio (borosilicato).
  - Unión seca: Tubos de heat pipe en contacto térmico pero no hidráulico.
2. Sistemas en U: el fluido caloportador circula por el interior de los cilindros de vidrio de sistema de vacío, por unos conductos de cobre en forma de U. El funcionamiento es parecido al de una placa plana. Este tipo de sistema tiene las ventajas de poder situarse en cualquier posición, ya que no necesita la inclinación del sistema Heat-pipe debido a

que para que se produzca el ciclo de calor (ver la figura anterior) debe haber una cierta inclinación.

3. Equipo de termosifón a presión atmosférica: un termosifón de tubos de vacío a presión atmosférica es un tipo de captador cuyas principales características son:
  - Captación solar mediante tubos de vacío: El elemento que absorbe la energía solar se encuentra aislado del exterior mediante una cámara al vacío para limitar las pérdidas energéticas. Esto se consigue con un tubo compuesto de dos cilindros coaxiales siendo el cilindro interior el que absorbe la radiación solar y el cilindro exterior siendo el que lo aísla del ambiente mediante una cavidad al vacío.
  - Circulación del circuito primario mediante termosifón: Una vez el agua del interior de los tubos aumenta de temperatura se genera una diferencia de densidad lo que hace que el agua más caliente suba hasta llegar al tanque de almacenamiento. Esto provoca una circulación natural por diferencia de temperaturas inducida por la radiación solar.
  - Circuito primario a presión atmosférica: El circuito primario, compuesto por el agua de los tubos y del tanque de almacenamiento, está en contacto con el ambiente exterior mediante una válvula de aireación. Esto último hace que el circuito primario esté siempre a presión atmosférica y limite los problemas por sobrepresión de los sistemas presurizados.

### 1.3. Otros tipos de colectores solares

Tecnología	Descripción	Aplicación	
Colector solar placa plana .	Estos colectores poseen una cubierta transparente de vidrio o plástico que aprovecha el efecto invernadero, calentando una Placa, donde la energía almacenada en la placa es transferida al fluido.	Producción de agua caliente sanitaria, climatización de piscina y calefacción.	
Colectores solares de caucho	Formado por una serie de tubos de caucho, los cuales expuestos al sol absorben la radiación solar y se la transmiten al fluido que atraviesa su interior.	Climatización de piscinas	
Colectores de aire	Son de tipo plano, utilizan como fluido caloportador el aire.	Calefacción	
Colectores de vacío	Son de doble cubierta envolvente, herméticamente cerrada, aislada del interior y del exterior, y en la cual se ha hecho el vacío.	Producción de agua caliente sanitaria y climatización de piscinas	
Tubos de calor	Tienen una simetría cilíndrica, formados por dos tubos concéntricos; uno exterior de vidrio y uno interior pintado de negro o con pintura selectiva	calefacción	

Tabla 1. Otros tipos de colectores.

## 2. Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía que produce electricidad de origen renovable, obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica, o bien mediante una deposición de metales sobre un sustrato denominada célula solar de película fina.

### ELEMENTOS DE UN PANEL FOTOVOLTAICO



Figura 7. Elementos de un panel fotovoltaico.

## 2.1. Células monocristalinas.

Basados en secciones de una barra de silicio perfectamente cristalizado en una sola pieza. En laboratorio se han alcanzado rendimientos máximos del 24,7% para éste tipo de paneles siendo en los comercializados del 16%.



Figura 8. Módulo fotovoltaico monocristalino.

## 2.2. Módulos de silicio puro policristalino

Los materiales son semejantes a los del tipo anterior aunque en este caso el proceso de cristalización del silicio es diferente. Los paneles policristalinos se basan en secciones de una barra de silicio que se ha estructurado desordenadamente en forma de pequeños cristales. Son visualmente muy reconocibles por presentar su superficie un aspecto granulado. Se obtiene con ellos un rendimiento inferior que con los monocristalinos (en laboratorio del 19.8% y en los módulos comerciales del 14%) siendo su precio también más bajo.



Figura 9. Módulo fotovoltaico policristalino.

Por las características físicas del silicio cristalizado, los paneles fabricados siguiendo esta tecnología presentan un grosor considerable. Mediante el empleo del silicio con otra estructura o de otros materiales semiconductores es posible conseguir paneles más finos y versátiles que permiten incluso en algún caso su adaptación a superficies irregulares. Son los denominados paneles de lámina delgada.

### 2.3. Silicio amorfo

Basados también en el silicio, pero a diferencia de los dos anteriores, este material no sigue aquí estructura cristalina alguna. Paneles de este tipo son habitualmente empleados para pequeños dispositivos electrónicos (Calculadoras, relojes) y en pequeños paneles portátiles. Su rendimiento máximo alcanzado en laboratorio ha sido del 13% siendo el de los módulos comerciales del 8%.

### 2.4. Otros tipos de módulos fotovoltaicos

- Teluro de cadmio: Rendimiento en laboratorio 16% y en módulos comerciales 8%.
- Arseniuro de Galio: Uno de los materiales más eficientes. Presenta unos rendimientos en laboratorio del 25.7% siendo los comerciales del 20%.
- Diseleniuro de cobre en indio: con rendimientos en laboratorio próximos al 17% y en módulos comerciales del 9%.

## 3. Energía eólica

La energía eólica es la energía obtenida a partir del viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es convertida en otras formas útiles de energía para las actividades humanas a través de aerogeneradores.

### 3.1. El aerogenerador

Un aerogenerador es un generador eléctrico movido por una turbina accionada por el viento (turbina eólica). Sus precedentes directos son los molinos de viento que se empleaban para la molienda y obtención de harina. En este caso, la energía eólica, en realidad la energía cinética del aire en movimiento, proporciona energía mecánica a un rotor hélice que, a través

de un sistema de transmisión mecánico, hace girar el rotor de un generador, normalmente un alternador trifásico, que convierte la energía mecánica rotacional en energía eléctrica.

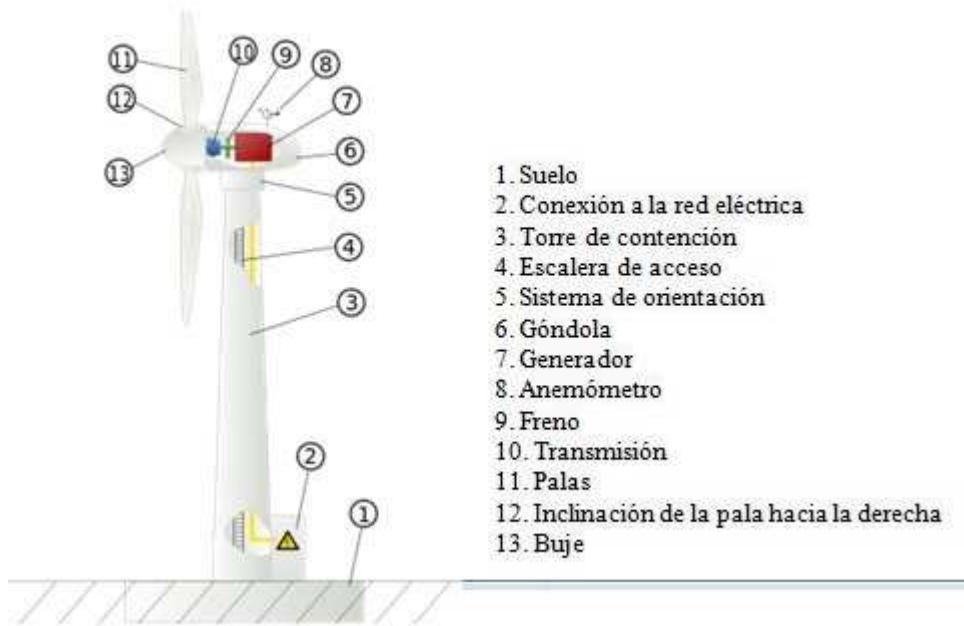


Figura 10. El aerogenerador y sus componentes.

## 3.2. Tipos de aerogeneradores

Existen dos tipos de aerogeneradores en la actualidad que se explican a continuación.

### 3.2.1. Aerogenerador de eje vertical

Los aerogeneradores de eje vertical no necesitan mecanismo de orientación y el generador eléctrico puede ir al suelo. Pero su producción energética es menor, respecto a un aerogenerador convencional de la misma potencia y se han de motorizar para facilitar su puesta en marcha. Hay tres tipos: el Savonius, está formado por dos semicírculos desplazados horizontalmente a una determinada distancia, a través de la cual se desplaza el aire (desarrolla poca potencia), el Giromill, conjunto de palas verticales unidas con dos barras en el eje vertical (10-20 Kw), y los Darrieus, está formado por dos o tres palas biconvexas unidas al eje vertical por la parte inferior y superior, permite aprovechar el viento dentro de una banda ancha de velocidades, el inconveniente es que no se encienden solos y necesitan un rotor Savonius una motorización (fiscal los 500 Kw).

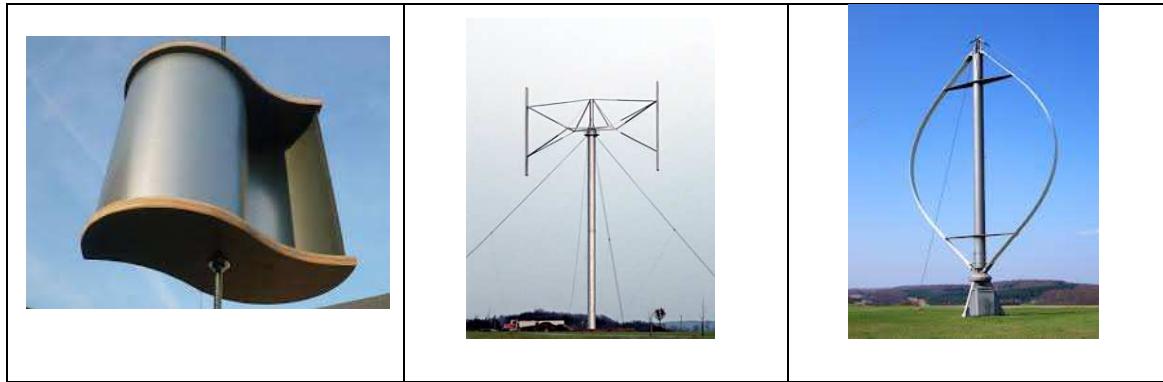


Tabla 2. Savonius, Giromill y Darrieus respectivamente.

### 3.2.2. Aerogenerador de eje horizontal

Los de eje horizontal son los más utilizados y permiten cubrir desde aplicaciones aisladas de pequeña potencia (de aproximadamente 1 Kw) hasta instalaciones en grandes parques eólicos, donde se puede llegar a utilizar aerogeneradores por encima de 1 MW de potencia.

Un aerogenerador de eje horizontal es, básicamente, una máquina rotacional, el movimiento de la cual es producido por la energía cinética del viento, cuando éste actúa sobre un rotor que normalmente dispone de tres palas. El movimiento rotacional producido es transmitido y multiplicado mediante un multiplicador de velocidad, hasta un generador que produce la energía eléctrica. Todos estos componentes se instalan sobre una góndola que se sitúa arriba de una torre de apoyo. Cada aerogenerador dispone de un microprocesador que controla y regula las sus variables de puesta en marcha, funcionamiento y paro, transmitiendo toda esta información a la central de control de la instalación. Igualmente, cada aerogenerador incorpora, en la base de la torre, un armario con todos los componentes eléctricos (interruptores automáticos, transformadores de intensidad, protectores de sobre tensión, etc.). Previos al transporte de la energía eléctrica generada hasta la conexión con la red o los puntos de consumo. La energía obtenida por un aerogenerador determinado depende básicamente de la potencia del viento atravesando el rotor y es directamente proporcional a la densidad del aire, la superficie barrida por sus palas y la velocidad del viento. El funcionamiento de un aerogenerador está caracterizado por su curva de potencia que indica el rango de velocidades de viento en las que puede operar y la potencia que puede alcanzar en cada caso.

### 3.3. Microeólica

Son aerogeneradores que se utilizan para uso personal. Los hay que producen desde 50 W hasta unos pocos kW. La configuración ideal de un aerogenerador es sobre un mástil sin necesidad de cables de anclaje y en un lugar expuesto al viento. Muchos de los diseños convencionales de turbinas eólicas no se recomiendan para su montaje en edificios. Sin embargo, si el único sitio disponible es el tejado de un edificio, instalar un pequeño sistema eólico puede ser factible si está lo suficientemente alto como para minimizar la turbulencia, o

si el régimen del viento en ese emplazamiento en particular es favorable. La mayoría de los sistemas de energía eólica disponibles necesitan la intervención del dueño durante el funcionamiento. Muchos fabricantes ofrecen servicio de mantenimiento para las turbinas eólicas que ellos instalan. El fabricante debe, en cualquier caso, proporcionar información detallada acerca de los procedimientos de mantenimiento.

Junto con los costes de inversión, se debe llevar a cabo una evaluación económica que incluya los siguientes aspectos:

- Reducción de los costes anuales de electricidad como resultado de la producción de la misma por el sistema de energía eólica. Debe tener en cuenta expectativas futuras del precio de la electricidad.
- Posibles programas de apoyo por parte del Gobierno, por ejemplo, subvenciones o incentivos fiscales para fomentar el uso de los sistemas de energía eólica.
- Costes asociados a la emisión de CO<sub>2</sub> (materias primas, construcción y mantenimiento).

Además de las ventajas propias de la energía eólica, la microeólica es más eficiente si se genera la electricidad cerca del lugar donde se consume, puesto que se minimizan las pérdidas en el transporte. También es posible, en estos casos, almacenar la energía en baterías para su uso en ausencia de viento.

### 3.4. Minieólica

No existe una frontera definida entre la microeólica y la minieólica. Generalmente, se puede considerar que la microeólica comprende un único aerogenerador, mientras que la frontera superior de la minieólica se define por potencia, y no debe superar los 100 kW. Se denominan también aerogeneradores domésticos o de pequeña potencia. Las aplicaciones son:

- Zonas aisladas: los miniaerogeneradores se utilizan en zonas aisladas donde existe un gran coste o dificultad para llevar la energía de la red eléctrica. Aquí estarían no sólo las viviendas o cabañas aisladas, también granjas, torres de telecomunicación, bombeo de agua, etc. En estos casos el aerogenerador suele ir acompañado de paneles solares fotovoltaicos que garantizan el óptimo funcionamiento del sistema.
- Instalaciones con un alto índice de consumo eléctrico: fábricas, desalinizadoras y otras infraestructuras que consumen una gran cantidad de energía pueden recurrir a la instalación de aerogeneradores para reducir el consumo eléctrico de la red.
- Conexión a la red: Los particulares y empresas que dispongan de un aerogenerador de minieólica pueden consumir la energía que necesitan y vender el sobrante a la red.

## 4. Energía de la biomasa

La bioenergía o energía de biomasa es un tipo de energía renovable procedente del aprovechamiento de la materia orgánica e industrial formada en algún proceso biológico o mecánico, generalmente es sacada de los residuos de las sustancias que constituyen los seres vivos (plantas, ser humano, animales, entre otros), o sus restos y residuos. El aprovechamiento de la energía de la biomasa se hace directamente (por ejemplo, por

combustión), o por transformación en otras sustancias que pueden ser aprovechadas más tarde como combustibles o alimentos.

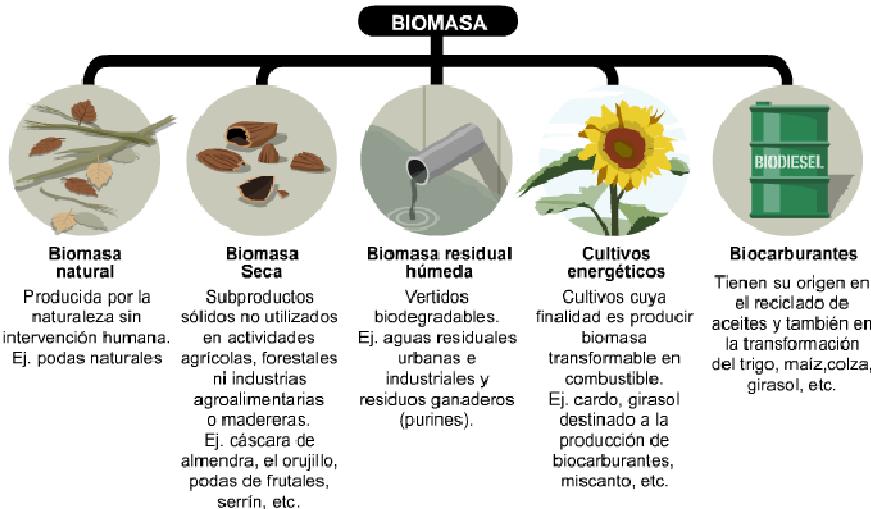


Figura 11. Tipos de biomasa.

## 4.1. Caldera de pellets

La caldera de pellets suele ser el elemento utilizado para la producción de calor en una vivienda, o también como generador de ACS y calefacción. La siguiente figura muestra los componentes de una caldera típica de biomasa.

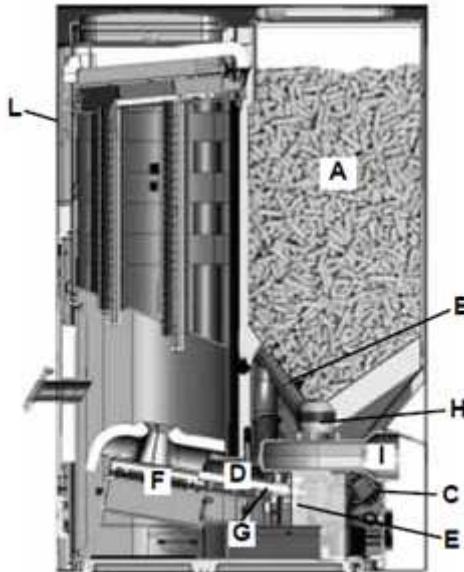


Figura 12. Caldera de pellets.

El combustible (pellet) se recoge del depósito (A) y, a través de un sinfín (B) movido por un motorreductor (C), se transporta a un segundo sinfín (D). Este es activado por otro motorreductor (E). El pellet así transportado llega hasta el quemador (F).

## 4.2. Comparación de biomasa con combustibles fósiles y precios

Tipo de combustible	Poder calorífico Kcal/kg	Coste €/Kg	Equivalencia con un litro de gasóleo		Equivalencia con un litro GLP		kWh/kg generados	Precio medio en € por kWh	Emisiones CO2 Grs/kWh
			Kg	€	Kg	€			
Gases licuados del petróleo	11068	1,1	0,76	0,90	0,57	0,63	12,87	0,09	230,19
Gasóleo	10247	1,18	0,83	0,95	0,62	0,73	11,92	0,10	267,80
Leña para quemar 25% humedad	3090	0,1	2,79	0,29	2,07	0,21	3,59	0,03	0,00
Leña para quemar 35% humedad	2600	0,09	3,31	0,31	2,45	0,23	3,02	0,03	0,00
Astillas haya/encina 25% humedad.	3090	0,07	2,79	0,19	2,07	0,14	3,59	0,02	0,00
Astillas haya/encina 35% humedad.	2500	0,06	3,32	0,21	2,46	0,15	2,91	0,02	0,00
Astillas de álamo 25% humedad	2900	0,05	2,92	0,15	2,17	0,11	3,37	0,02	0,00
Astillas de álamo 35% humedad	2450	0,04	3,51	0,15	2,6	0,11	2,85	0,02	0,00
Pellet madera max. 10% humedad	4750	0,18	2	0,36	1,48	0,27	5,52	0,03	0,00

Tabla 3. Características de los biocombustibles y del gasóleo.

La tabla número 3 expone datos físico-químicos de varios tipos de biomasa y gasóleo. Es una buena comparación en cuanto a precios de kWh producidos por cada tipo de recurso. Producir electricidad a partir de gasóleo o gases licuados del petróleo es tres veces más caro que usando biomasa, además de emitir CO<sub>2</sub>. Las emisiones de CO<sub>2</sub> por parte de la biomasa es neutro siempre y cuando la biomasa utilizada no sea superior a la generada.

## ANEXO III DIMENSIONADO DE SISTEMA DE ACS

A continuación se muestra el dimensionado del sistema de ACS de la vivienda. El sistema de suministro de ACS se compondrá de una caldera de biomasa y de uno o varios colectores solares, que proporcionarán la energía necesaria para cubrir la demanda total de la vivienda. Por un lado se hará un estudio de la energía aportada por colectores solares y por el otro, la caldera de pellets que se utilizará.

Jorge Lecina Sayas

## Anexo 3: ACS

El sistema de suministro de ACS se compondrá de una caldera de biomasa y de uno o varios colectores solares, que proporcionarán la energía necesaria para cubrir la demanda total de la vivienda. Por un lado se hará un estudio de la energía aportada por colectores solares y por el otro, la caldera de pellets que se utilizará.

### 1. Datos relativos al consumo

Nº de dormitorios	1	2	3	4	5	6	7
Nº de personas	1,5	3	4	6	7	8	9

Tabla 4. Relación dormitorios/nº personas

La vivienda tiene 3 dormitorios, entonces se supone que van a vivir 4 personas.

Criterio de demanda	Litros ACS/día a 60º C	
Viviendas unifamiliares	30	por persona
Viviendas multifamiliares	22	por persona

Tabla 5. Demanda de agua a 60°C.

Cada persona tiene una demanda a 30 litros de ACS a 60°C.

Por lo tanto → 4 personas \* 30 litros de ACS 60°C/persona = 120 litros ACS a 60°C. Se supone que la ocupación en Diciembre se baja por vacaciones:

	Días del mes	Ocupación %	Consumo mensual (m <sup>3</sup> )	T <sup>a</sup> de red (°C)	Salto térmico (°C)	Necesidades/Mes (Mcal)	Necesidades/mes KWh
Enero	31	100	3,72	4	56	208,32	241,88
Febrero	28	100	3,36	5	55	184,8	214,57
Marzo	31	100	3,72	7	53	197,16	228,92
Abril	30	100	3,6	9	51	183,6	213,18
Mayo	31	100	3,72	10	50	186	215,97
Junio	30	100	3,6	11	49	176,4	204,82
Julio	31	100	3,72	11	49	182,28	211,65
Agosto	31	100	3,72	11	49	182,28	211,65
Septiembre	30	100	3,6	9	51	183,6	213,18
Octubre	31	100	3,72	9	51	189,72	220,29
Noviembre	30	100	3,6	7	53	190,8	221,54
Diciembre	31	90	3,35	4	56	187,49	217,69
		Media anual	Total anual	T <sup>a</sup> media		Anual	Anual
		99,17	43,43	8,08		2252,45	2615,34

Tabla 6. Necesidades del sistema de ACS.

## Dimensionado de la superficie de colectores solares

	Necesidades/mes KWh	Radiación incl. 45° KWh/m <sup>2</sup> *mes	Demanda cubierta KWh	Exceso KWh
Enero	241,88	3,41	119,75	0
Febrero	214,57	4,27	135,44	0
Marzo	228,92	5,56	195,25	0
Abril	213,18	5,82	197,79	0
Mayo	215,97	5,96	209,3	0
Junio	204,82	6,27	213,08	8,26
Julio	211,65	6,65	233,53	21,88
Agosto	211,65	6,51	228,61	16,96
Septiembre	213,18	6,17	209,68	0
Octubre	220,29	4,98	174,88	0
Noviembre	221,54	3,79	128,8	0
Diciembre	217,69	3,34	117,29	0

Tabla 7. Demanda cubierta con colectores solares.

La tabla 3 muestra las necesidades energéticas para el suministro de ACS a 60°C, usando 1,6 m<sup>2</sup> de superficie colectora (calculado posteriormente) y los datos de radiación a

45° de inclinación se obtiene la demanda que el colector cubre, así como también el exceso producido.

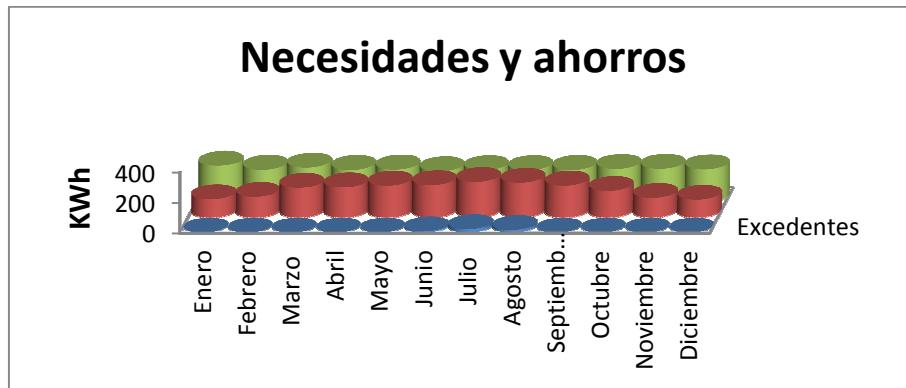


Figura 13. Necesidades y ahorros.

El dimensionado de la instalación se realizará teniendo en cuenta que en ningún mes del año la energía producida por la instalación podrá superar el 110% de la demanda energética y en no más de tres meses el 100% y a estos efectos no se tomarán en consideración aquellos periodos de tiempo en los cuales la demanda energética se sitúe un 50% por debajo de la media correspondiente al resto del año, tomándose medidas de protección. Ya que en los 3 meses de verano se produce más del 110% de la demanda energética se realizará el proceso de tapado parcial de aproximadamente un 10-20% de la superficie de absorción.

## 2. Calculo de superficie colectora

### 1) Calculo de la demanda según CTE HS4

$$\frac{43,43 \frac{m^3}{año} * (T^a \text{ caldera} - T^a \text{ media anual}) * 4,14 \frac{KJ}{Kcal} * 1000 \frac{Kcal}{Mcal}}{3600 \frac{KJ}{KWh}} = 2618,05 \frac{KWh}{año}$$

$$\frac{43,43 \frac{m^3}{año} * (60 - 8,08) * 4,14 \frac{KJ}{Kcal} * 1000 \frac{Kcal}{Mcal}}{3600 \frac{KJ}{KWh}} = 2618,05 \frac{KWh}{año}$$

Del valor que se obtiene de demanda, el 60% será a través de energía solar térmica (según el código técnico) y el restante a través de biomasa.

La demanda será:

1570,83 WKh de solar térmica.

1047,22 KWh de biomasa.

### 2) Calculo de la energía solar aportada Ep

$$Ep = 0,9 * \eta_{Captador} * \text{Rad media anual}$$

$$Ep = 0,9 * 0,705 * 5,24 \frac{KWh}{m^2 * \text{día}} * 365 \text{ días} = 1218,7 \frac{KWh}{m^2}$$

Siendo: 0,9 factor de pérdidas del circuito de la instalación (tuberías, etc)

### 3) Calculo de la superficie necesaria de colectores solares

$$\text{Superficie} = \frac{\text{Demanda solar}}{\text{Energía aportada}}$$

$$\text{Superficie} = \frac{1570,83 \text{ kWh}}{1218,7 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}} = 1,28 \text{ m}^2$$

## 3. Cálculos técnicos y justificación

En este apartado se van a seleccionar los equipos de la instalación, justificándolo con algún cálculo si es necesario.

### 3.1. Colectores

Se ha comparado entre distintos colectores y el colector seleccionado tiene la mejor relación precio-rendimiento que los otros. Se ha elegido 1 colector de tubo de vacío "U" pipe AKU 16 de Salvador Escoda. El motivo de la elección de unos colectores con tan alto rendimiento se debe a que el espacio en la cubierta del edificio está limitado se ahorra en el equipo, como en soportes y tuberías. Con esto se consigue ahorrar en metros de tubería, y por tanto se producirá una menor perdida de carga y se requerirá una bomba de menor potencia.

Las características de este colector son:

- $L \cdot A \cdot H$  [mm]: 1352\*1930\*150
- Superficie total: 2,6  $\text{m}^2$
- Superficie de absorción: 1,6  $\text{m}^2$
- Eficiencia: 70.8 %
- Coeficiente global de pérdida: 2,84  $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$



DATOS TECNICOS:

Modelo		AKU 20	AKU 16	AKU 12
Dimensiones A x H x F	mm	1672x1980x156	1352x1930x150	1032x1930x150
Peso	kg	52	45	38
Nº de tubos		20	16	12
Diámetro, tubo de cobre	mm	8	8	8
Diámetro/longitud	mm	58/1800	58/1800	58/1800
Tubo de vacío				
S. Total	$\text{m}^2$	3,21	2,6	1,99
S. Apertura	$\text{m}^2$	2,03	1,6	1,2
Presión máx. func.	bar	6	6	6
Rendimiento				
$\eta^0$		0,708	0,708	0,708
$a_1 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$		2,84	2,84	2,84
Contraseña homologación		GPS-8247	GPS-8343	GPS-8343

Figura 14. Colector de tubos de vacío seleccionado y características.

### 3.2. Volumen del acumulador

El volumen óptimo de acumulación es de 70 litros por cada  $\text{m}^2$  de colector instalado, entonces el volumen total de acumulación será el siguiente:

$$V_{\text{Acumulador}} = 1,6 \text{ m}^2 * 70 \frac{\text{L}}{\text{m}^2} = 112 \text{ L}$$

Se instalará un interacumulador de 200 L de capacidad, con doble serpentín de intercambio, el superior será para la caldera de biomasa y el inferior para el sistema solar. Así también se instalará un intercambiador de placas y un acumulador de inercia, ya que el código técnico prohíbe un sistema con caldera de biomasa sin acumulador de inercia.

- Superficie de intercambio superior es de 0,7 m<sup>2</sup>
- Superficie de intercambio inferior es de 0,9 m<sup>2</sup>

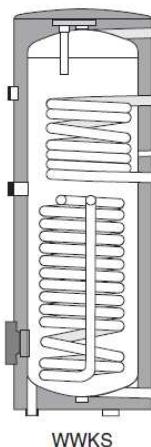


Figura 15. Interacumulador de 200 L con doble serpentín.

### 3.3. Selección de la configuración básica del proyecto

- Circulación forzada por medio de dos electrocirculadores.
- Sistema que constará de dos acumuladores.
- El primero acumulará energía procedente de los colectores.
- El segundo, alimentado por el primero ubicado en la caldera central de la casa, es en el que se aplica la energía procedente de la biomasa

### 3.4. Metros de tubería de cobre y diámetro

Para calcular el diámetro Se utiliza la expresión

$$D = J \cdot C^{0,35} \quad \text{siendo:}$$

D = Diametro en cm

C = Caudal en m<sup>3</sup>/h

J = 2,2 para tuberías metálicas

0,15m<sup>3</sup>/H

Se obtiene un valor de 11,33mm → se utilizará tubería de cobre de 12 mm normalizado. 10 metros para el sistema primario.

Utilizando la hoja de Excel de pérdidas de carga e introduciendo los metros de tubería se ha optimizado su diámetro. La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos:

Diámetro (mm)	Longitud (m)	normativa
12	10	Cumple CTE

Tabla 8. Metros de tubería y diámetro optimizados.

Estos valores se han optimizado atendiendo a la cantidad de racorería empleada, el número de captadores a los que abastece y las válvulas de retención y esfera, cumplimentando las especificaciones del código técnico.

Se han elegido diámetros limitantes a la normativa, ya que tiene los mejores costes económicos.

### 3.5. Vaso de expansión

Con los siguientes resultados se llega a la obtención del vaso de expansión óptimo para la instalación:

1) Calculo Volumen fluido primario

$$1 \text{ Captador} \rightarrow 2,4 \text{ l}$$

Tubería de cobre de 12 mm de Diámetro tiene una capacidad de 0,0785

$$10\text{m} * 0,0785 = 0,785 \text{ L}$$

Volumen de intercambiador  $\rightarrow 3\text{L}$

$$\underline{\text{Volumen total} = 2,4+3+0,785= 6,185 \text{ L}}$$

2) Volumen dilatado

Tomando el coeficiente de dilatación de 0,085

$$V_{\text{dilatado}} = 6,185 * 0,085 = 0,543\text{L}$$

3) Calculo de la reserva

$$V_{\text{reserva}} = 6,185 * 0,029 = 0,18 \text{ L} \text{ pero tomaremos un mínimo de 1L}$$

4)  $V_{\text{vaporizado}}$

Considerando el volumen de captadores de 2,4 L, el volumen vaporizado será:

$$V_{\text{vaporizado}} = 2,4 * 1,10 = 2,64 \text{ L}$$

5) Calculo del volumen útil del vaso

$$V_{\text{util}} = 0,543 + 1 + 2,64 = 4,18\text{L}$$

6) Calculo de presiones

7) Calculo de coeficientes de presión

$$Cp = P_{\text{max}} / (P_{\text{mas}} - P_{\text{min}}) = 3,05$$

8) Volumen vaso de expansión.

$$\underline{\text{Volumen del vaso de expansión} \rightarrow 4,18 * 3,05 = 12,749\text{L}}$$

Se obtiene un volumen resultante de vaso de expansión de 12,75 L. Por lo tanto se seleccionara un vaso de expansión que se adecúe a estas especificaciones.

### 3.6. Fluido caloportador

Como la temperatura mínima histórica de Zaragoza es -14°C el fluido tiene que cumplir temperaturas hasta -19°C

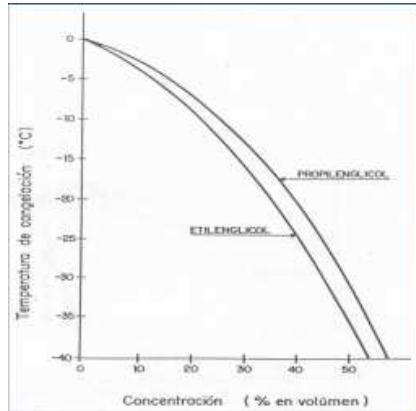


Figura 16. Proporción en % volumen de caloportador respecto a la T<sup>a</sup> de congelación.

Observando esta grafica se obtiene que para la temperatura mínima histórica corresponde un 40% de polipropileno. Entonces:

Volumen de Fluido en el sistema = 6,2 L

Volumen de Caloportador necesario =  $6,2 * 0,4 = 2,48$  L requeridos.

### 3.7. Dimensionado de las bombas

Para el dimensionado de bombas se ha de tener en cuenta dos factores, que son el caudal que circula y la pérdida de carga.

Para una superficie de captación de 100 m<sup>2</sup> el caudal óptimo debe de estar en el intervalo 1,2-2 L/s. La superficie de este proyecto es de 1,6 m<sup>2</sup>, así que el caudal elegido es 0,12 m<sup>3</sup>/h.

### 3.8. Aislamiento de tuberías

Las tuberías de cobre de Salvador Escoda vienen provistas de una aislante de caucho sintético, con una pérdida de calor equivalente dos tuberías aisladas con 25 mm de espesor.

### 3.9. Regulador

Para la elección de un sistema de regulación se ha tenido en cuenta que se requiere de un regulador con 2 sondas y 2 relés, ya que tenemos dos puntos de entrada (salida de colectores y acumulador) y dos puntos de salida (grupo de bombeo primario y secundario). Se ha intentado elegir el que mejor se adapte al sistema y con un coste considerable.

### 3.10. Caldera de biomasa

Se utilizará una caldera de pellets de 9 kW marca bioclass (ver anexo 6 punto 5). Generalmente el uso de una caldera de 12 kW es suficiente para el suministro de ACS de una vivienda, por lo tanto, se ha optado por este tipo de caldera, debido a que solo se necesita cubrir un 40% de las necesidades de la vivienda. Si se produce un incremento en la demanda de agua caliente este tipo de caldera lo podrá soportar.

## 4. Esquema de la instalación

La figura mostrada a continuación es un esquema básico de cómo será la instalación de ACS. La energía del sol calentará los captadores, y estos a su vez irán recirculando el fluido caloportador por todo el sistema. El sistema de control se encargará de activar los electrocirculadores y/o la caldera auxiliar (que en este caso será de biomasa), para que así consiga tener el sistema la temperatura deseada.

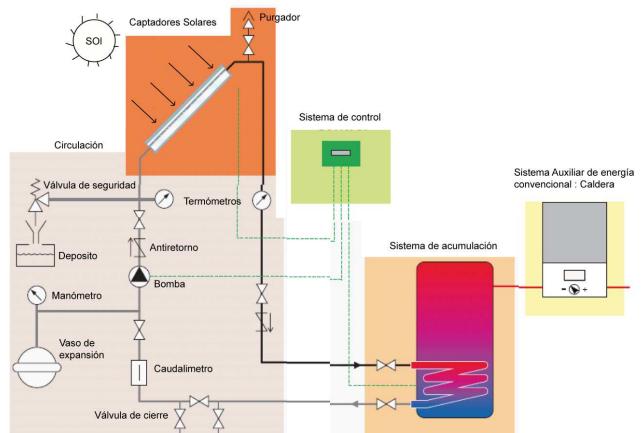


Figura 17. Esquema de la instalación.

## ANEXO IV PROYECTO DE POSTGRADO

A continuación se muestra un proyecto anterior de fin de postgrado en energías renovables. Se lleva a cabo un dimensionado de un sistema eólico-fotovoltaico con un grupo electrógeno de apoyo para un sistema aislado.

Jorge Lecina Sayas

## Anexo 4: Proyecto de postgrado

### 1. Objetivos

En el presente proyecto se pretende cubrir las necesidades energéticas de una vivienda aislada de la red eléctrica. La vivienda se encuentra situada en el parque natural de las Bardenas de Navarra, cerca de la localidad de Fustiñana. Se quiere instalar un mini aerogenerador eólico combinado con módulos fotovoltaicos para satisfacer la energía demandada a lo largo del año en la vivienda. Se realizará una comparación entre varias configuraciones.

Esta instalación tendrá un apoyo de un sistema auxiliar, un generador diesel. La energía producida de los paneles fotovoltaicos y el aerogenerador será conducida mediante un bus de corriente continua, llevada a un inversor y se transformará en corriente alterna. Existirán unas pérdidas por conversión, pero esto es preferible, ya que en el mercado de hoy en día es difícil encontrar aparatos que funcionen con corriente continua.

Esta zona del medio Ebro posee gran cantidad de recursos energéticos, así son el viento en invierno y el abundante sol en verano. A partir de los recursos disponibles en la zona se va a dimensionar un sistema que pueda autoabastecer energéticamente las necesidades de esta vivienda. Se optimizará la superficie fotovoltaica a instalar, así como el número de baterías colocadas. El esquema correspondiente a la instalación será el siguiente:



Figura 18. Esquema de la instalación eólica-fotovoltaica.

El generador diesel es el que se conecta a la salida del inversor. En los siguientes apartados se intensificará más acerca de los recursos disponibles de la zona.

### **Principio de permacultura:**

Permacultura podría definirse literalmente como "agri-cultura permanente". El concepto fue desarrollado en los setenta por dos australianos, David Holmgren y Bill Mollison. El mismo consiste en el diseño y mantenimiento de pequeños ecosistemas productivos, junto con la integración armónica del entorno, las personas y sus viviendas, proporcionando respuestas a sus necesidades de una manera sostenible.

El sistema está basado en la idea de que los humanos somos "administradores" de la tierra, por lo que debemos planear soluciones a largo plazo para alimentar a la población, pero sin crear daños al planeta. El principio básico de la permacultura es el de trabajar con... y no contra la naturaleza. Los sistemas "permaculturales" son construidos para durar tanto como sea posible, con un mínimo de mantenimiento. Los sistemas son típicamente energizados por el sol, el viento y/o el agua, produciendo lo suficiente para su propia necesidad, como para la de los humanos que lo crean o controlan. De esta manera, el sistema es sostenible.

En un sistema permacultural debe existir la mayor diversidad posible de plantas. Esto asegura que una plaga nunca alcance proporciones epidémicas, como sucede con los sistemas monoculturales. Cuando sea posible, es conveniente mantener la diversidad de plantas de la región. Los seguidores de la permacultura no solo toman recursos del medioambiente, ellos también le devuelven, mediante una interacción positiva con la naturaleza. La permacultura cuida la tierra y a las personas, y limita el consumismo. La superficie de tierra utilizada en esta instalación va a ser la superficie útil de panel fotovoltaico y del aerogenerador, y el consumo de combustibles fósiles se va a minimizar, haciendo uso de energías limpias como el sol y el aire, para evitar un mayor daño al medio ambiente. Por ello se cumplirá con el principio de permacultura, ya que trabajaremos con la naturaleza, en vez de perjudicarla.

## **2. Determinación de los consumos a satisfacer, características de la energía demandada.**

Se ha elaborado un estudio de los posibles consumos que va a disponer esta vivienda, así como también las horas de uso y su potencia. La siguiente tabla muestra los consumos disponibles en la vivienda.

<b>Consumo</b>
Televisión
Ordenador
Lavadora (sin calentar agua)
Lavavajillas
Minicadena
Dvd
Microondas
Otros aparatos
Iluminación de habitaciones
Luz salón
Luz cocina
Nevera

Tabla 9. Consumos a satisfacer en la vivienda.

Se excluyen de los consumos a satisfacer aquellas demandas de energía consistentes exclusivamente en forma de calor (calentamiento de agua para la lavadora, horno, ACS y calefacción), que deberán conseguirse por otros medios, dado que su obtención a partir de energía eléctrica presenta un rendimiento bastante bajo por lo que no es especialmente recomendable su conexión en instalaciones eléctricas aisladas. Los consumos que se indican en las siguientes tablas van a funcionar a través de energía en corriente alterna. En esta otra tabla se especifica con mayor profundidad la cantidad de equipos que se posee de dichos consumos, su potencia, las horas de uso aproximadas al día y el consumo en Wh en un día:

Aparato	Nº de equipos	Potencia unitaria (W)	Tiempo funcionamiento (h/día)	Energía demandada (Wh/día)
Iluminación de habitaciones	5	20	1,5	150
Luz salón	1	40	3	120
Luz cocina	1	20	3	60
Frigorífico	1	200	12 (noche)	2400
		220	12 (día)	2640
Televisión	1	250	3	750
ordenador	2	120	2	480
lavadora (sin calentar agua)	1	500	1	500
lavavajillas	1	1000	0,5	500
minicadena	1	75	0,25	18,75
dvd	1	25	0,5	12,5
microondas	1	700	0,5	350
otros aparatos	1	10	24	240
Consumo ca				8221,25
Margen de seguridad			15%	
Eficiencia inversor			85%	
Consumo ac real,incl. margen				9454,44
Energía total requerida en cc				<b>11122,87</b>

Tabla 10.Cantidad diaria de energía necesaria para suministrar a los consumos.

Como se observa la mayor carga en todo el día la tiene el frigorífico, y la mayor carga puntual el lavavajillas. El frigorífico necesitará más energía en las horas de uso, que serán 24 horas aproximadamente. Se desea sobredimensionar un sistema, que tenga un exceso de energía producida. Esto se debe a que se ha realizado una estimación aproximada de los consumos, y también para tener la posibilidad de conectar nuevos consumos. La siguiente tabla muestra una estimación de cómo se reparten las cargas en cada hora del día. La mayor demanda energética se produce al anochecer, y la menor en la madrugada. Se ha hecho una clasificación de 5 tipos de demandas que se pueden tener en las 24 horas del día, representadas por colores y referenciados en una leyenda.

	Comp. Utilizados durante 1 hora	Comp. Utilizados durante 1/2 hora	Comp. Utilizados en 1/4 hora	Carga soportada (W)
0:00-1:00	  			230
1:00-2:00	  			710
2:00-3:00	 			210
3:00-4:00	 			210
4:00-5:00	 			210
5:00-6:00	 			210
6:00-7:00	  	  		540
7:00-8:00	 			220
8:00-9:00	 			210
9:00-10:00	 			210
10:00-11:00	 			230
11:00-12:00	 			230
12:00-13:00	 			230
13:00-14:00	 			230
14:00-15:00	 			290
15:00-16:00	  			350
16:00-17:00	 			230
17:00-18:00	 			230
18:00-19:00	 			230
19:00-20:00	  			250
20:00-21:00	     	  		503,75
21:00-22:00	        	 		1355
22:00-23:00	           			672,5
23:00-00:00	  			230
	Cargas totales			8221,25

	Reproductor dvd
	Televisor
	Ordenador
	Lavadora
	Minicadena
	Iluminación de Habitaciones
	Iluminación del salón
	Iluminación de la cocina
	Microondas
	Frigorífico
	Lavavajillas
	Bombas sistema
	Otros aparatos

	Carga soportada (W)
	0-700
	700-900
	900-1000
	>1000

Tabla 11. Cargas repartidas durante todo el día.

### 3. Recurso fotovoltaico y dimensionamiento de la instalación

No es necesario un análisis muy riguroso de la realidad de nuestro planeta para darse cuenta que los niveles de consumo que actualmente se mantienen en los países denominados desarrollados nos llevan a grandes contradicciones. Con el ánimo de crecer económicamente nos lanzamos a sistemas productivos que inciden sobre nuestro planeta y por ende sobre los seres humanos que lo habitan. El uso irracional de la energía es otra forma de consumo desmedido que nos lleva a la "sobreexplotación" de los recursos que nos ofrece nuestro planeta. Este tipo de reconversión energética hacia energías más limpias aunque supone un desembolso inicial que no todas las economías pueden asimilar, supone un importante paso para poder romper la dependencia económica de los proveedores de combustible y apostar por un desarrollo sostenible planetario (sin entrar en si realmente existe voluntad política de hacerlo o si los promotores de la transferencia tecnológica serán las mismas empresas multinacionales que controlan el oligopolio del petróleo)

El uso de las energías renovables posibilita la creación de nuevas alternativas de vida, que apuestan por un mayor respeto al medio ambiente. Las energías renovables son un gran instrumento para cambiar el futuro de nuestro planeta pero esta revolución tecnológica será inútil si no hacemos un análisis mucho más crítico de la realidad económica y política que nos ha llevado a no saber coexistir en armonía con todos los seres vivos de la Tierra. Así, con la realización del presente proyecto se pretende mejorar bastantes aspectos económicos y medioambientales que son los siguientes:

- 1) En primer lugar, y el más importante, gracias a proyectos de este tipo se puede conseguir una gran disminución de los gases que se emiten por parte del uso de combustibles fósiles.
- 2) Al principio, la inversión requerida es muy alta. Pero en poco tiempo esta inversión es rentabilizada, incluso es posible obtener beneficios, ya que el precio de los paneles fotovoltaicos está bajando considerablemente y eso contribuye a una disminución del coste de una instalación
- 3) Usando energías renovables se toma conciencia de lo escasa que es la energía, y más aún en un sistema aislado del exterior. Por lo tanto, se hace un uso de energía más racional.

Se desea electrificar una vivienda unifamiliar situada en las Bardenas Reales de Navarra. En la tabla número 11 se muestra los valores de los equipos y la estimación de las horas de utilización en corriente alterna.

La latitud del emplazamiento es de 42° Norte 1° 30' Oeste.

El 25% de la energía que se suministre va a ser de origen fotovoltaico, mientras que el 75% restante será eólico.

### **Elección de la inclinación de los paneles:**

Se va a realizar un estudio con dos métodos. El primero consiste en la optimización mediante el mes peor, y el segundo, más eficaz, mediante la utilización de un soporte para los paneles en el cual se pueda ajustar la inclinación en dos posiciones para poder favorecer la captación en los meses de verano y en los de invierno.

### **3.1. Usando el método del mes peor:**

Como se quiere optimizar para el mes peor, que será un mes de invierno, la inclinación óptima será aproximadamente la latitud más diez grados. Para mejor resultado se puede repetir el ejercicio con otros valores de inclinación hasta encontrar el óptimo, es decir, el que exige menor potencia instalada ( $W_p$ ). Elegimos en nuestro caso un valor de 52 grados de inclinación (Orientación Sur).

#### **3.1.1. Evaluación del recurso disponible:**

Buscamos en la tabla de radiación los valores. Posteriormente buscamos los valores de  $k$  para la latitud e inclinación elegidas. Multiplicando este factor  $k$  (para cada mes) por la radiación sobre superficie horizontal, hallamos el valor de la radiación global incidente sobre la superficie de los paneles.

Todo ello se muestra en la siguiente tabla:

Localización: 42°3'14" Norte, 1°30'58" Oeste, Elevación: 314 m a.s.l.

<b>Mes</b>	<b><math>E_d</math></b>	<b><math>E_m</math></b>	<b><math>H_d</math></b>	<b><math>H_m</math></b>
Enero	1,21	37,4	1,66	51,5
Febrero	1,77	49,4	2,39	66,8
Marzo	2,86	88,8	3,82	118
Abril	3,48	104	4,61	138
Mayo	4,3	133	5,68	176
Junio	4,81	144	6,34	190
Julio	4,83	150	6,38	198
Agosto	4,23	131	5,59	173
Septiembre	3,39	102	4,5	135
Octubre	2,23	69,2	3	92,9
Noviembre	1,38	41,4	1,88	56,5
Diciembre	1,03	31,8	1,42	44,1
<hr/>				
<b>Promedio anual</b>	<b>2,97</b>	<b>90,2</b>	<b>3,95</b>	<b>120</b>
<b>Total en un año</b>	<b>1080</b>		<b>1440</b>	

Tabla 12. Datos de radiación solar para las coordenadas de la instalación.

$E_d$ : Producción promedio diaria de energía eléctrica del sistema dado (kWh)

$E_m$ : Producción promedio mensual de electricidad del sistema dado (kWh)

$H_d$ : Suma promedio diario de irradiación global por metro cuadrado, recibidos por los módulos del sistema dado ( $\text{kWh}/\text{m}^2$ )

$H_m$ : Cantidad media de irradiación global por metro cuadrado, recibidos por los módulos del sistema dado en un mes ( $\text{kWh}/\text{m}^2$ )

La siguiente tabla muestra la radiación incidente con el factor de corrección  $k$  para el ángulo de inclinación de los paneles:

Mes	$H_{\text{horiz}}$	$K$ (42º Lat y 52º incl)	Radiación incidente ( $\text{kWh}/\text{m}^2$ día)
Enero	1,66	1,44	2,39
Febrero	2,39	1,31	3,13
Marzo	3,81	1,16	4,42
Abril	4,6	1	4,6
Mayo	5,68	0,89	5,05
Junio	6,33	0,86	5,45
Julio	6,39	0,9	5,75
Agosto	5,58	1,02	5,69
Septiembre	4,5	1,21	5,45
Octubre	3	1,44	4,32
Noviembre	1,88	1,59	2,99
Diciembre	1,42	1,56	2,22

Tabla 13. Radiación incidente con el factor de corrección  $k$  para 52º de inclinación.

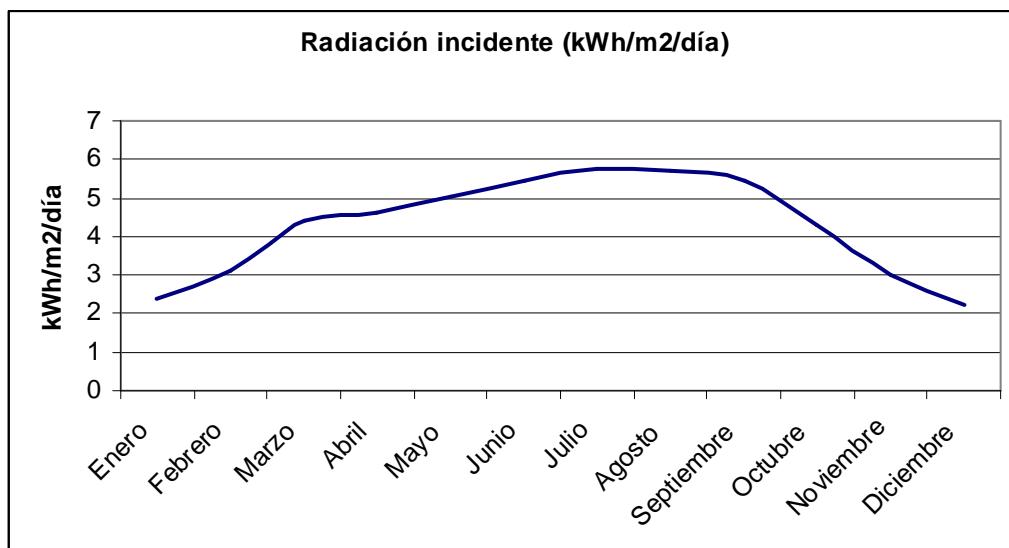


Figura 19. Representación gráfica de la radiación del lugar.

### 3.1.2. Dimensionamiento del campo de captación:

Consiste en buscar el valor máximo de la relación Consumos / radiación, que aparece en la siguiente tabla:

Mes	Radiación incidente (kWh/m <sup>2</sup> dia)	Consumo(Wh/dia)	Consumo(kWh/m <sup>2</sup> día)/radiación inc.(Wh/día)
Enero	2,39	2780,7	1163,47
Febrero	3,13	2780,7	888,4
Marzo	4,42	2780,7	629,12
Abril	4,6	2780,7	604,5
Mayo	5,05	2780,7	550,63
Junio	5,45	2780,7	510,22
Julio	5,75	2780,7	483,6
Agosto	5,69	2780,7	488,7
Septiembre	5,45	2780,7	510,22
Octubre	4,32	2780,7	643,68
Noviembre	2,99	2780,7	930
Diciembre	2,22	2780,7	1252,57

Tabla 14. Relación consumos y radiación para el método del mes peor.

El valor máximo de relación consumos/radiación es de 1252,57, correspondiente al mes de diciembre (mes peor). Este valor numérico es coincidente con la potencia mínima de captación (en condiciones STC para el sistema).

#### Condiciones estándar de medida, STC

El comportamiento eléctrico de una célula fotovoltaica cambia según las condiciones de iluminación y temperatura. Para permitir la comparación entre células se han establecido unas condiciones estándares de medida (Standard Test Conditions, STC), de uso universal y definidas como sigue:

- Irradiancia : 100 mW/cm<sup>2</sup> (1000W/m<sup>2</sup>)
- Distribución espectral : AM 1,5
- Incidencia normal
- Temperatura de la célula :25°C

Respecto a la distribución espectral, ha de considerarse que los rayos de sol, al atravesar la atmósfera, sufren una modificación, de modo que parte, la radiación, se refleja y parte es transmitida. Las capas de aire hacen que parte de la radiación se disperse y otra se absorba. De este modo, no solo llega menor cantidad de energía a la superficie de la tierra

respecto de la que llega al exterior de la atmósfera, sino que también cambia su distribución espectral. Se denomina Air Mass (AM) a la longitud de trayectoria a través de la atmósfera terrestre atravesada por el rayo de sol directo, expresado como múltiplo de la trayectoria recorrida hasta un punto a nivel del mar con el sol directamente encima (adimensional). Por tanto se requiere, al menos, una potencia (en condiciones STC) de 1252,57 Wp.

### 3.1.3. Número mínimo de paneles a conectar:

En este momento se escoge el panel del fabricante o distribuidor.

Se dispone de un panel fotovoltaico de 180Wp tecnología saturno de la marca BP solar.

El número de paneles necesarios será:

$$(1,1 * 1252) / 180 \approx 8$$

La configuración de las placas será la siguiente:

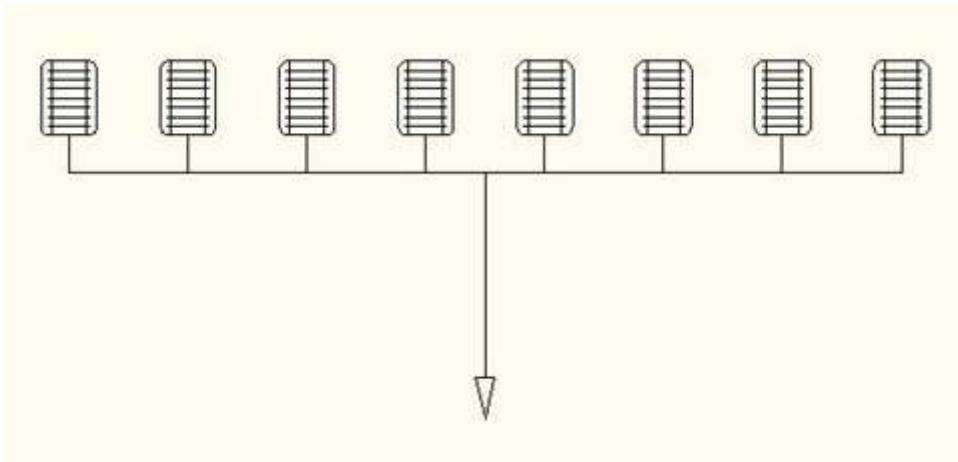


Figura 20. Configuración placas fotovoltaicas en paralelo.

### 3.1.4. Elección de la tensión de trabajo:

Debido a que el aerogenerador va a producir electricidad a 24 V y a que es preferible este voltaje frente a 12 V para minimizar pérdidas, se va a trabajar a 24 V, ya que a 12 V se producirán mayores pérdidas de tensión y el grosor de los cables será mayor. Los equipos se conectarán a un inversor cuya salida será 230 V de corriente alterna.

### 3.1.5. Regulador:

El regulador viene determinado eléctricamente por su tensión nominal y la intensidad de corriente que es capaz de gestionar desde los paneles y hacia la carga. En este caso se debe elegir un regulador cuya tensión nominal sea la del banco de baterías, 24V.

La cantidad máxima que provendrá de los paneles en este caso es de 180 W cada uno, y son necesarios 8 paneles como mínimo. La corriente de cortocircuito de estos paneles es de 5,4 A y una tensión en circuito abierto de 44,8 V. La colocación de los paneles será en

paralelo, para tener la tensión de trabajo adecuada. Cada panel tiene una corriente de cortocircuito de 5,4 A, por lo tanto la máxima corriente que llegara al regulador es de:  
Corriente máxima regulador  $\rightarrow 8 \times 5,4 = 43,2$  A.

Con esta intensidad máxima y dejando un cierto margen será necesario un regulador de 24V y 60 A. Del mismo modo se actuará con el lado del consumo. Hay que calcular los amperios que en un momento dado debe gestionar el regulador. Se supone, que en un momento dado, la potencia de todos los equipos que funcionan simultáneamente es de 1355 W. Traducido a corriente,  $1355W / 24 V = 56,56$  A. Los resultados demuestran que un regulador de corriente nominal 60 A es adecuado. El regulador seleccionado es de la marca Xantrex modelo C60.

### 3.1.6. Características del inversor requerido:

En este caso se requiere un inversor cuya tensión de entrada sea de 24 V en continua, y la salida en 230 V en alterna, monofásico. Para la elección de la potencia, se escoge la máxima carga que exige el sistema, que es de 1355 W.

La suma de las potencias que ha de alimentar el inversor es, por tanto, 1,355 kW, por lo que podríamos escoger un inversor de 2kW. El inversor elegido es un Ingecon sun de 2,5 kW.

## 3.2. Usando el método con dos inclinaciones:

En este caso se va a utilizar un soporte para las placas solares con dos posiciones. Una de las posiciones será la inclinación óptima para los meses de verano y la otra para favorecer la absorción de radiación en los meses menos favorables.

La primera disposición de las placas va a ser la latitud + 10° para los meses desfavorables y latitud – 10° para los meses más favorables. Los meses de menos radiación son de octubre-marzo y con más radiación de abril-septiembre.

### 3.2.1. Evaluación del recurso disponible:

Buscamos en la tabla de radiación los valores. Posteriormente buscamos los valores de k para la latitud e inclinación elegidas. Multiplicando este factor k (para cada mes) por la radiación sobre superficie horizontal, hallamos el valor de la radiación global incidente sobre la superficie de los paneles. Para los meses desfavorables el factor k corresponde a una inclinación de 52°, mientras que para los más favorables 32°. La siguiente tabla muestra los valores de recurso para las dos inclinaciones:

Mes	H horiz.	K (42º Lat, 32º y 52º incl)	Radiación incidente (kWh/m <sup>2</sup> día)
Enero	1,66	1,44	2,39
Febrero	2,39	1,31	3,13
Marzo	3,81	1,16	4,42
Abril	4,6	1,09	5,01
Mayo	5,68	1,02	5,79
Junio	6,33	1	6,33
Julio	6,39	1,02	6,52
Agosto	5,58	1,1	6,14
Septiembre	4,5	1,23	5,54
Octubre	3	1,44	4,32
Noviembre	1,88	1,59	2,99
Diciembre	1,42	1,56	2,22

Tabla 15. Radiación incidente para el método de dos inclinaciones.

### 3.2.2. Dimensionamiento del campo de captación:

Consiste en buscar el valor máximo de la relación Consumos/ radiación.

Mes	Radiación incidente (kWh/m <sup>2</sup> /día)	Consumo(Wh/día)	Consumo(kWh/m <sup>2</sup> día)/radiación inc.(Wh/día)
Enero	2,39	2780,7	1163,47
Febrero	3,13	2780,7	888,40
Marzo	4,42	2780,7	629,12
Abril	5,01	2780,7	555,03
Mayo	5,79	2780,7	480,26
Junio	6,33	2780,7	439,29
Julio	6,52	2780,7	426,49
Agosto	6,14	2780,7	452,88
Septiembre	5,54	2780,7	501,93
Octubre	4,32	2780,7	643,68
Noviembre	2,99	2780,7	930,00
Diciembre	2,22	2780,7	1252,57

Tabla 16. Relación consumos radiación para el método de dos inclinaciones.

### **3.2.3. Número mínimo de paneles a conectar:**

En este momento se escoge el panel del fabricante o distribuidor.

Se dispone de un panel fotovoltaico de 180Wp tecnología saturno de la marca BP solar.

El número de paneles necesarios será:

$$(1,1 * 1252) / 180 \approx 8$$

La tensión de trabajo, el regulador y el inversor será el mismo que en apartado anterior. Aunque el número de paneles obtenidos y las características de la instalación eléctrica necesaria son las mismas que en el caso de una sola inclinación, se preferirá esta solución a la anterior ya que el sistema será más eficiente, consigiéndose un mayor aprovechamiento del recurso disponible.

### **3.3. Selección de la opción más ventajosa:**

Cualquiera de las dos opciones puede satisfacer la demanda energética, pero si lo que se desea es maximizar la producción siempre es conveniente utilizar un soporte con varias inclinaciones para aprovechar mejor la radiación incidente.

## **4. Recurso eólico y dimensionamiento de la instalación**

Para el estudio del recurso eólico se han obtenido datos de velocidad de viento en una base de datos, y se ha calculado la velocidad media en cada mes y en cada año.

Introduciendo los valores promedio de velocidad mensual en un programa de simulación llamado “Homer”, el aerogenerador más conveniente para la instalación es “Whisper 500”, que trabaja a 24 V de corriente continua y tiene una potencia nominal de 3 kW.

### **4.1. Distribución de viento del emplazamiento**

La siguiente tabla representa las repeticiones que se producen en los bienes de velocidad en 4 años de estudio de viento, así como su frecuencia en tanto por 1 y en %.

Datos de 2006-2009			
v (m/s)	Repeticiones	Frecuencia	Frecuencia %
0	15	0,01	1,04
1	221	0,15	15,25
2	310	0,21	21,39
3	285	0,2	19,67
4	238	0,16	16,43
5	173	0,12	11,94
6	103	0,07	7,11
7	58	0,04	4
8	34	0,02	2,35
9	11	0,01	0,76
10	1	0	0,07
11	0	0	0
12	0	0	0
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0
18	0	0	0
19	0	0	0
20	0	0	0

Tabla 17. Repeticiones para cada velocidad comprendido entre 2006 y 2009.

Las siguientes figuras muestran la repartición por bines de velocidad y la distribución de viento:

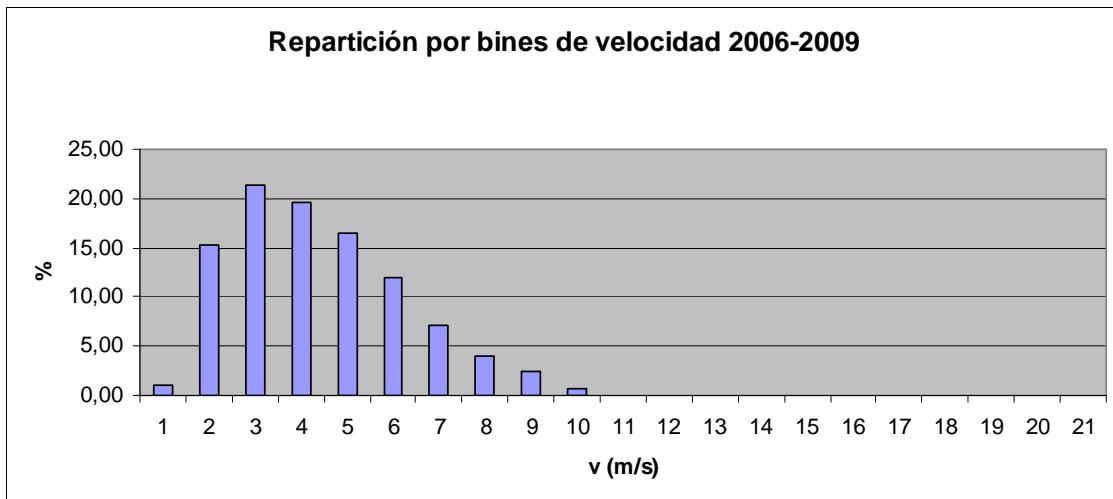


Figura 21. Repartición por bins de velocidad.

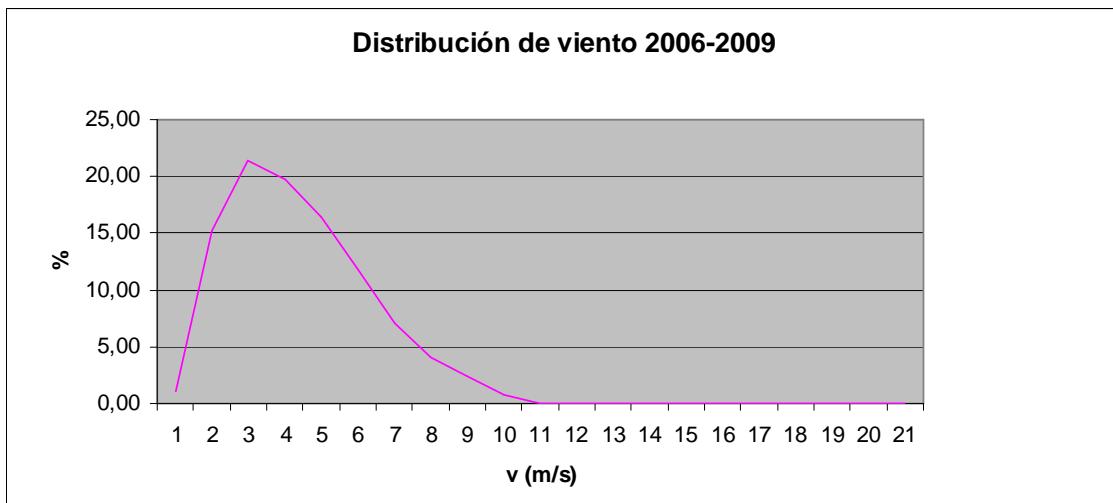


Figura 22. Distribución de viento.

## 4.2. Distribución de Weibull

A partir de las siguientes ecuaciones se han determinado los valores de A y k de la distribución de Weibull:

$$\frac{A}{U} = \left( 0.568 + \frac{0.433}{k} \right)^{-1} \quad k = \left( \frac{\sigma_U}{U} \right)^{-1.086}$$

Los valores obtenidos para los datos de los cuatro años estudiados son:

	<b>Vel media (m/s)</b>	<b>Desv media (m/s)</b>	<b>k</b>	<b>A (m/s)</b>
2006	3,94	1,51	2,83	4,42
2007	3,79	1,58	2,59	4,26
2008	3,86	1,47	2,86	4,33
2009	4	1,56	2,78	4,49
2006-2009	3,9	1,53	2,76	4,38

Tabla 18. Parámetros de Weibull.

Los datos de la curva de potencia y la representación gráfica del mini aerogenerador “Whisper 500” son los siguientes:

<b>Velocidad de viento (m/s)</b>	<b>Potencia de salida (kW)</b>
0	0
1	0
2	0
3	0
4	0,27
5	0,55
6	0,88
7	1,26
8	1,7
9	2,18
10	2,67
11	3,07
12	3,28
13	3,33
14	3,26
15	3,13
16	2,96
17	2,77
18	2,56
19	2,33
20	2,08

Tabla 19. Datos de la curva de potencia Whisper 500.

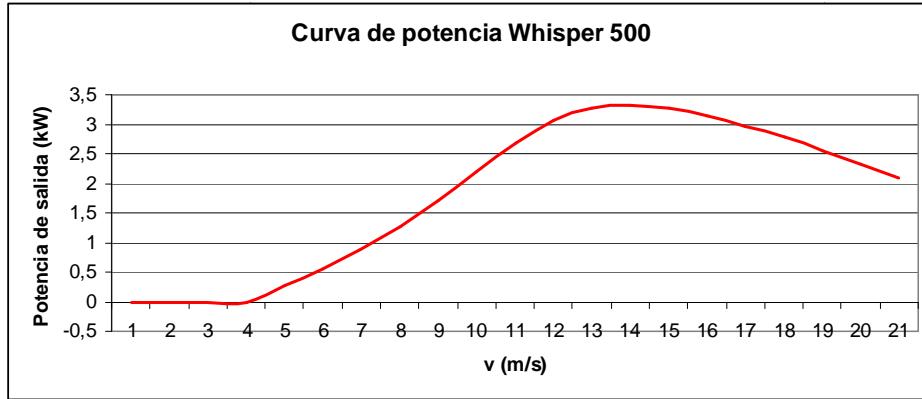


Figura 23.Curva de potencia Whisper 500.

### 4.3. Regulador eólico

El regulador viene determinado eléctricamente por su tensión nominal y la intensidad de corriente que es capaz de gestionar desde los paneles y hacia la carga. En este caso se debe elegir un regulador cuya tensión nominal sea la del banco de baterías, 24V. La cantidad máxima de intensidad que provendrá del aerogenerador en este caso será la potencia máxima entre la tensión:

$3330 \text{ W} / 24 \text{ V} = 138,75 \text{ A}$  Con esta intensidad máxima y dejando un cierto margen será útil un regulador de 24 V y 150 A.

### 4.4. Producción

A partir de los datos de la curva de potencia del aerogenerador y de las frecuencias de velocidad de viento se ha calculado la producción de energía en cada año y también una media entre los 4 años de estudio. Se ha tenido en cuenta un 3 % de pérdidas eléctricas. Las siguientes tablas muestran los cálculos realizados:

Velocidad de viento (m/s)	Potencia de salida (kW)	Distrib. de viento 2006 [h/año]	Distrib. de viento 2007 [h/año]	Distrib. de viento 2008 [h/año]	Distrib. de viento 2009 [h/año]	KWh/año 2006	KWh/año 2007	KWh/año 2008	KWh/año 2009
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	96	72	144	0	0	0	0	0
2	0	1176	1488	1056	1080	0	0	0	0
3	0	1824	1800	1560	1872	0	0	0	0
4	0,27	2040	1344	1752	1296	550,80	362,88	473,04	349,92
5	0,55	1296	1104	1392	1584	712,80	607,20	765,60	871,20
6	0,88	1104	1128	1056	816	971,52	992,64	929,28	718,08
7	1,26	432	648	672	696	544,32	816,48	846,72	876,96
8	1,7	384	336	168	480	652,80	571,20	285,60	816,00
9	2,18	264	120	216	192	575,52	261,60	470,88	418,56
10	2,67	96	48	48	48	256,32	128,16	128,16	128,16
11	3,07	0	24	0	0	0	73,68	0	0
12	3,28	0	0	0	0	0	0	0	0
13	3,33	0	0	0	0	0	0	0	0
14	3,26	0	0	0	0	0	0	0	0
15	3,13	0	0	0	0	0	0	0	0
16	2,96	0	0	0	0	0	0	0	0
17	2,77	0	0	0	0	0	0	0	0
18	2,56	0	0	0	0	0	0	0	0
19	2,33	0	0	0	0	0	0	0	0
20	2,08	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Energía producida (kWh)</b>						<b>4264,08</b>	<b>3813,84</b>	<b>3899,28</b>	<b>4178,88</b>
<b>Energía útil (contando pérdidas del 3 %)</b>						<b>4136,16</b>	<b>3699,42</b>	<b>3782,30</b>	<b>4053,51</b>

Tabla 20. Producción para cada año estudiado.

Producción media en 2006-2009				
Velocidad de viento (m/s)	Potencia de salida (kW)	Frecuencia	Potencia (W) x freq	Energía (kWh/año)
0	0	0,01	0	0
1	0	0,15	0	0
2	0	0,21	0	0
3	0	0,20	0	0
4	0,27	0,16	44,35	388,49
5	0,55	0,12	65,67	575,23
6	0,88	0,07	62,55	547,97
7	1,26	0,04	50,43	441,81
8	1,70	0,02	39,89	349,43
9	2,18	0,01	16,55	144,97
10	2,67	0,00	1,84	16,14
11	3,07	0	0	0
12	3,28	0	0	0
13	3,33	0	0	0
14	3,26	0	0	0
15	3,13	0	0	0
16	2,96	0	0	0
17	2,77	0	0	0
18	2,56	0	0	0
19	2,33	0	0	0
20	2,08	0	0	0
Energía producida (kWh)				2464,04
Energía útil (contando un 3% en pérdidas)				2390,12

Tabla 21. Producción media anual.

Ahora, con los datos de producción, se puede comprobar si el aerogenerador elegido es el adecuado y si va a satisfacer las necesidades energéticas propuestas.

Al principio del proyecto se menciona que un 75 % de la energía que se va a suministrar va a ser eólica:

11122,87 Wh diarios totales \* 0,75 = 8342,15 Wh de energía eólica necesarios.

2390,12 kWh/año \* 1000 Wh/ kWh \* 1 año/365 días = 6548,27 Wh diarios producidos.

En principio se observa que la energía que produce el aerogenerador no llega al mínimo requerido, pero observando el dimensionado del sistema se pueden sacar conclusiones para explicar que la instalación está sobredimensionada:

- En el estudio de las velocidades de viento, los valores que se han obtenido de la base de datos meteo Navarra, que corresponden a velocidades medias diarias, cuando lo más exacto es la toma de valores medios en intervalos de 10 a 15 minutos. En este caso los resultados teóricos obtenidos posiblemente serían mayores, y se llegaría a abastecer el 75 % de la

energía necesaria. Por otra parte, con el grupo electrógeno se conseguirá que el suministro de energía esté garantizado en caso necesario. Así mismo será conveniente disponer de sistemas limitadores del consumo en el caso de que no se alcance el mínimo de generación eléctrica estimado.

## 5. Otras fuentes de energía: diesel u otras

El sistema eólico-fotovoltaico va a necesitar un sistema de apoyo energético, en este caso va a ser un generador diesel de 1kW, para evitar profundas descargas en el sistema de almacenamiento, que pueden ser causadas por una alta demanda de energía puntual o por falta de radiación solar y viento. El generador seleccionado es de 1000W de potencia, de la marca Taigüer.

## 6. Almacenamiento energético

Este sistema va a utilizar baterías plomo-ácido para almacenar la energía generada. El modelo de las baterías es Clasic Opzs solar 2350. Las características aparecen en el anexo, pero simplificando, cada una de ellas tiene una tensión de 2V y una capacidad de 2350 Ah. Dado que se va a trabajar con una tensión de 24 V, la disposición de las baterías va a ser una agrupación de 12 baterías en serie. Para la determinación de la capacidad debe decidirse el número de días de autonomía y la profundidad máxima de descarga a la que deseamos someter. Supongamos en este caso 3 días y una profundidad del 70%.

$$Q = 110 * 11122,86 \text{ Wh} * 3 \text{ días} / (24 \text{ V} * 70) = 2184,85 \text{ Ah}$$

Como disponemos de baterías de 2350 Ah de capacidad:

Nº baterías =  $2184,85 / 2350 = 1$  batería, conectando 12 en serie para obtener el voltaje de trabajo.

En la siguiente figura se muestra cómo quedará la configuración:

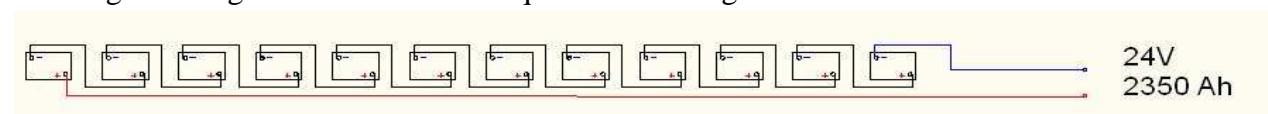


Figura 24. Configuración en serie-paralelo de las baterías.

## 7. Posibilidad de conexión a red

En principio, puede caber la posibilidad de conectar la instalación a una línea eléctrica para obtener beneficios, pero luego aparecen abundantes condicionantes. Uno de ellos, es la distancia a la que puede encontrarse la instalación de una línea eléctrica, y para ello será necesarios cientos o miles de metros de cable, que ocasionarán un gran incremento del coste de la instalación, aparte de las pérdidas de tensión ocasionadas. Por otra parte, habrá que hacer más proyectos, tener un permiso de conexión y será necesario un complejo equipo de conexión a red, que incrementará considerablemente los costes y hará dudosa su viabilidad y rentabilidad económica.

## 8. Conclusiones

El resultado de la optimización de la superficie fotovoltaica es el mismo para los dos casos estudiados, ya que en ambos se obtiene el mes de diciembre como el más desfavorable, y a través de él se calculan los paneles necesarios. Usando el método de dos inclinaciones será más ventajoso, debido a que se captará más cantidad de radiación. En la parte eólica los resultados obtenidos son inferiores a los esperados. Esto se debe a que es preferible realizar el estudio con datos de 10 minutos en vez de con medias diarias, ya que no se aprecian los picos máximos de velocidad, y en esos picos es donde el aerogenerador tiene un mayor rendimiento. Como no había datos de intervalos de 10 minutos, se utilizaron los datos medios diarios. Si lo que se desea es una mayor precisión en el dimensionamiento, podrían adquirirse datos de viento en una base diezminutal, a través de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMet) u otra entidad similar.

Por último, es conveniente incluir un sistema de control en el equipo, cuya función se desconectar alguna carga si hay poca generación.

## ANEXO V RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES

A continuación se muestra un proyecto anterior de fin de postgrado en energías renovables. Se lleva a cabo un dimensionado de un sistema eólico-fotovoltaico con un grupo electrógeno de apoyo para un sistema aislado.

Jorge Lecina Sayas

## Anexo 5: resultados simulaciones

En el siguiente anexo aparecen todas las simulaciones realizadas en el proyecto, en las que se define brevemente como es el sistema, y unas conclusiones al final de cada una indicando los aspectos positivos y algún posible inconveniente si se lleva a la práctica.

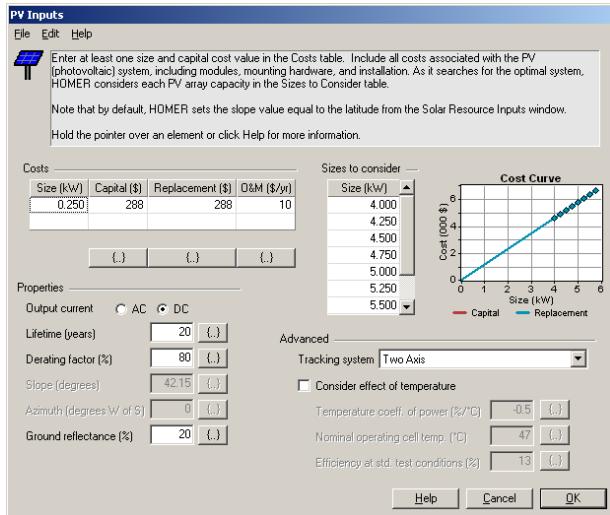


Figura 25. Entrada de valores fotovoltaicos. Valores de potencia de entrada en un rango de 4-6 kW. A la derecha aparece la curva de costes.

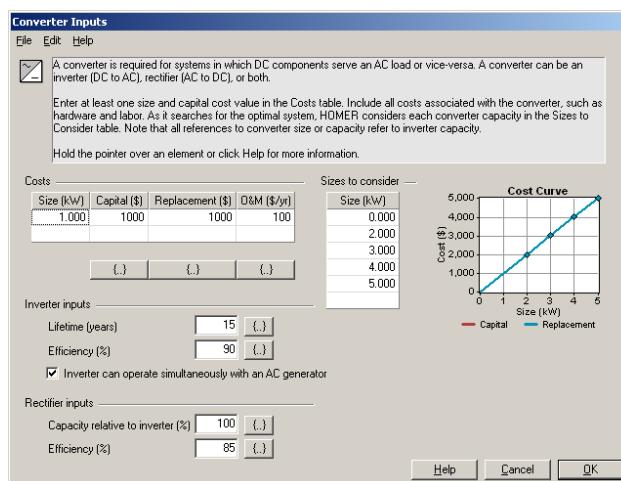


Figura 26. Entrada del convertidor. Se introducen varias potencias para una simulación más completa.

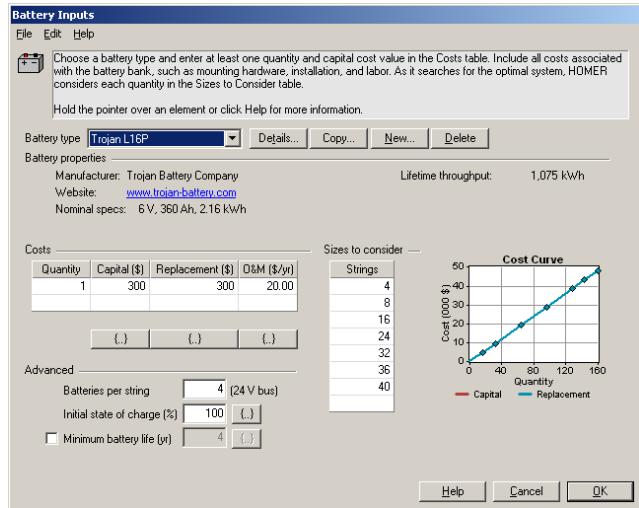


Figura 27. Entrada de las baterías.

## Caso 1: Sistema aislado solo con fotovoltaica para alimentar una carga eléctrica.

En el primer caso estudiado solamente se utilizan módulos fotovoltaicos para producir la electricidad necesaria que alimente a la carga eléctrica.

Tras observar los resultados de las figuras se obtienen los siguientes resultados:

- Coste del kWh del sistema más óptimo: 0,552\$/kWh
- Potencia fotovoltaica empleada: 4,00 kW
- Potencia eólica empleada: 0 kW
- Potencia de generador empleada: 0 kW
- Número de baterías: 32

Conclusión: Sistema no viable, debido a una fuerte dependencia de la energía solar, sería necesario un grupo electrógeno de apoyo. El número de baterías usado es elevado para el perfil del tipo de carga de la vivienda y sufrirán profundas descargas.

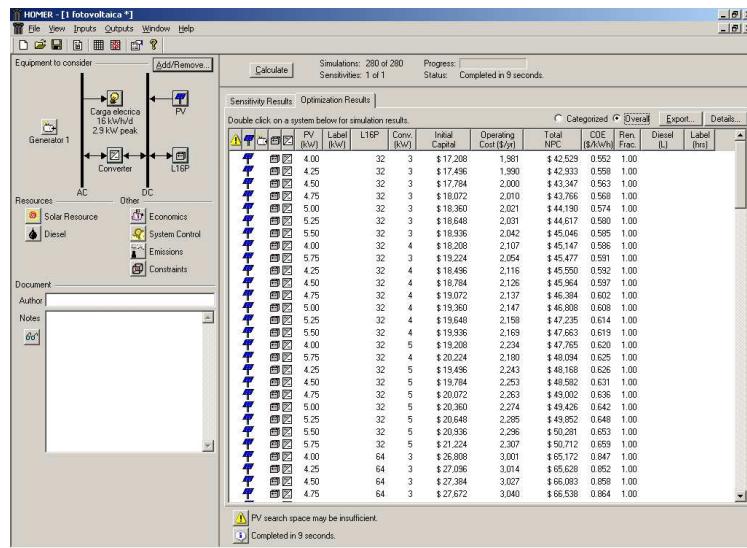


Figura 28. Resultados de simulación 1. Aparece una gran variedad de resultados que se ordenan de forma creciente respecto al precio del kWh

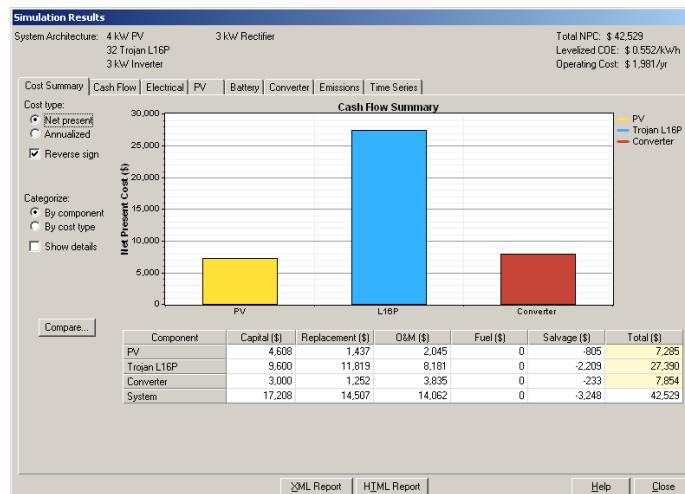


Figura 29. Resumen de costes simulación 1. El precio de las baterías supone más del 60% del coste total.



Figura 30. Datos eléctricos del sistema 1. Mayores valores de producción eléctrica para los meses de primavera y otoño. Esto se debe a que en estas épocas la temperatura del ambiente es óptima para los módulos fotovoltaicos (20-25°C).

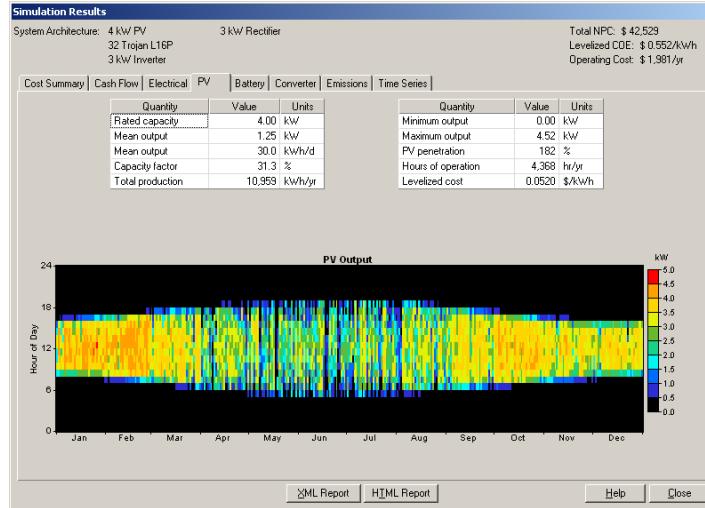


Figura 31. Datos de salida fotovoltaica caso 1.



Figura 32. Estado de las baterías caso 1.

## Caso 2: Sistema híbrido de fotovoltaica y grupo electrógeno para carga eléctrica.

Simulación a partir de módulos fotovoltaicos de 250 Wp y con apoyo de grupo electrógeno. Tras observar los resultados de las figuras se obtienen los siguientes resultados:

- Coste del kWh del sistema más óptimo: 0,554\$/kWh
- Potencia fotovoltaica empleada: 4,00 kW
- Potencia eólica empleada: 0 kW
- Potencia de generador empleada: 1 kW
- Número de baterías: 16

Conclusión: Sistema ligeramente más económico que el anterior, además tiene una mejora de optimización (apoyo de grupo electrógeno), que reduce el uso de baterías. El inconveniente es

que todavía se siguen produciendo descargas de las baterías, aunque no tan profundas como el caso anterior.

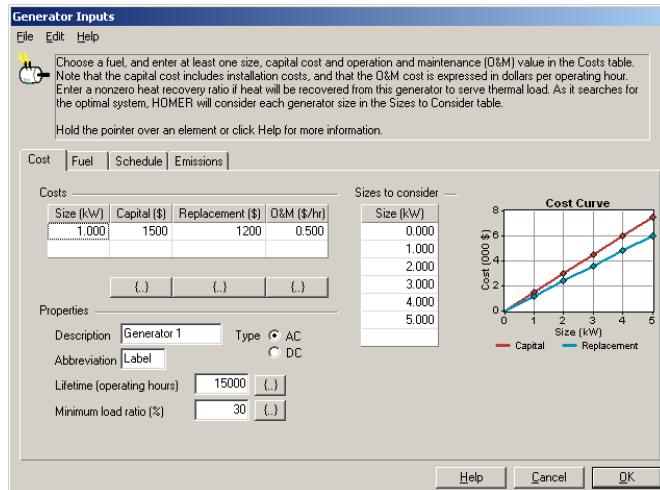


Figura 33. Entrada del generador caso 2. Se introducen varios valores de potencia de entrada para que el software encuentre el más óptimo.

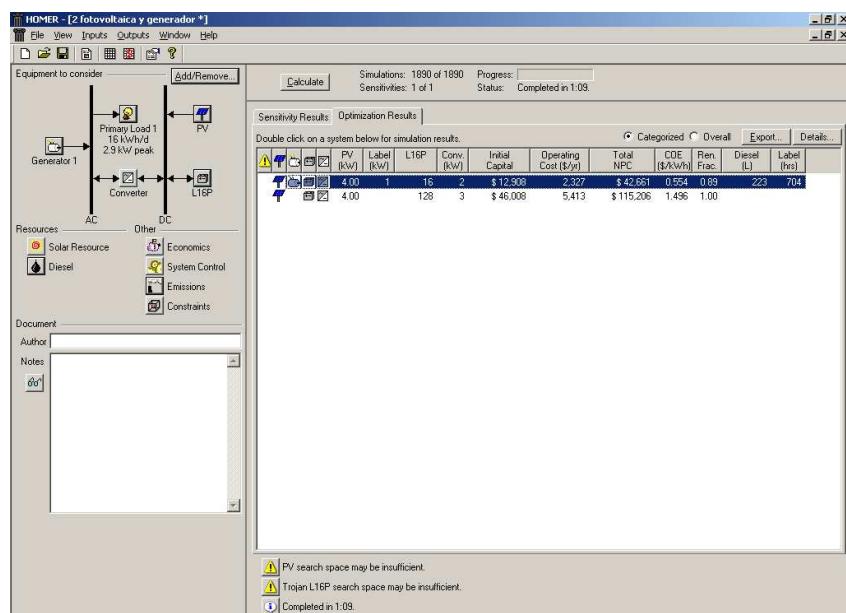


Figura 34. Resultados de simulación 2. El sistema con grupo electrógeno resulta más económico pese a que generalmente incrementa los costes. Esto se debe a que la utilización de grupo electrógeno de apoyo disminuye la dependencia del sistema de acumulación, lo que conlleva a un menor gasto.

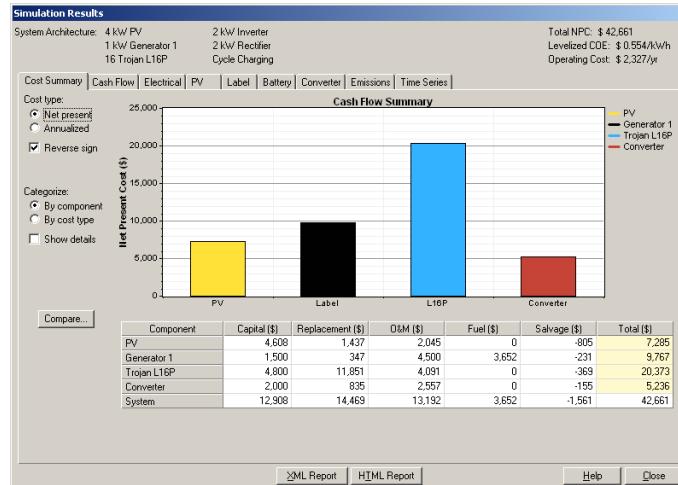


Figura 35. Resumen de costes simulación 2. En este caso las baterías suponen un 50% del precio del sistema.

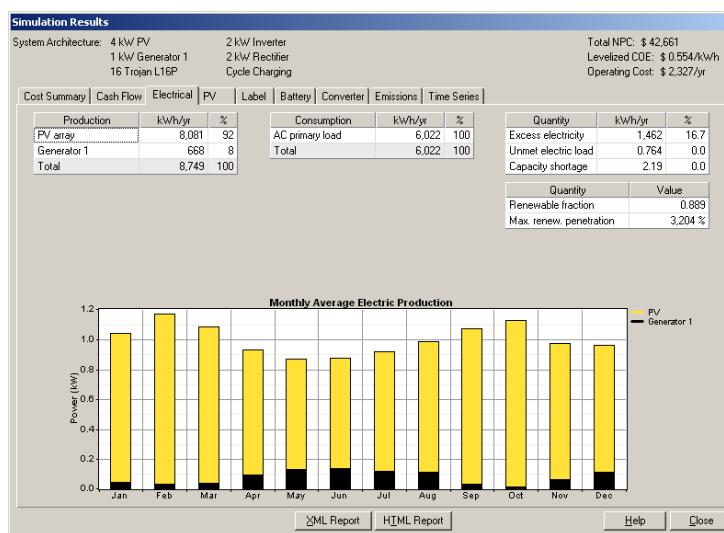


Figura 36. Datos eléctricos caso 2. Mayor utilización del grupo electrógeno en verano y algunos meses de invierno.

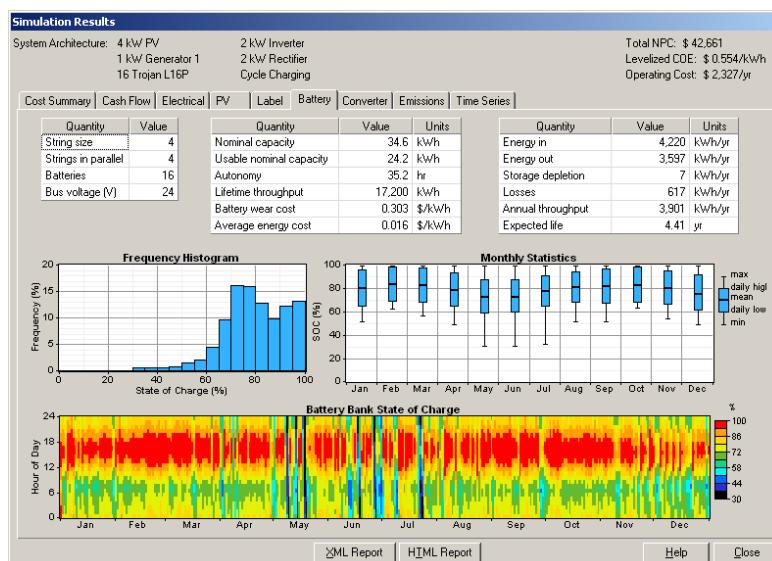


Figura 37. Estado de las baterías caso 2. Se observa que las baterías sufren descargas de hasta el 70%, por lo tanto no es muy recomendable este sistema.

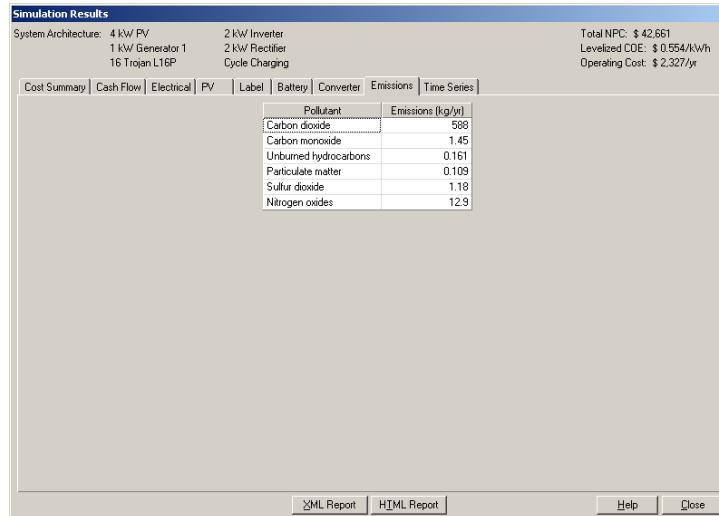


Figura 38. Emisiones caso 2.

### Caso 3: Sistema híbrido de aerogenerador y generador para carga eléctrica.

Simulación a partir de un aerogenerador de 3kW de potencia nominal apoyado de un generador eléctrico. A continuación se muestran los resultados obtenidos.

- Coste del kWh del sistema más óptimo: 0,819\$/kWh
- Potencia fotovoltaica empleada: 0 kW
- Potencia eólica empleada: 3 kW
- Potencia de generador empleada: 1 kW
- Número de baterías: 16

Conclusión: Sistema inviable económico, pero el sistema de baterías será mejor que el de casos anteriores.

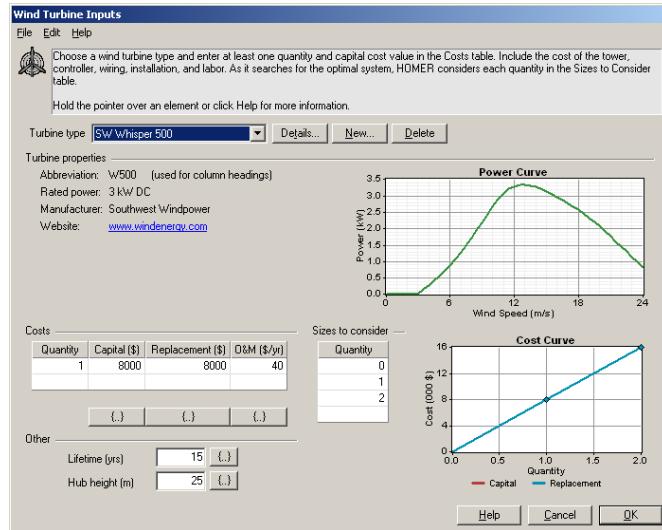


Figura 39. Entrada aerogenerador. A la derecha aparece la curva de potencia del aerogenerador y debajo la curva de costes.

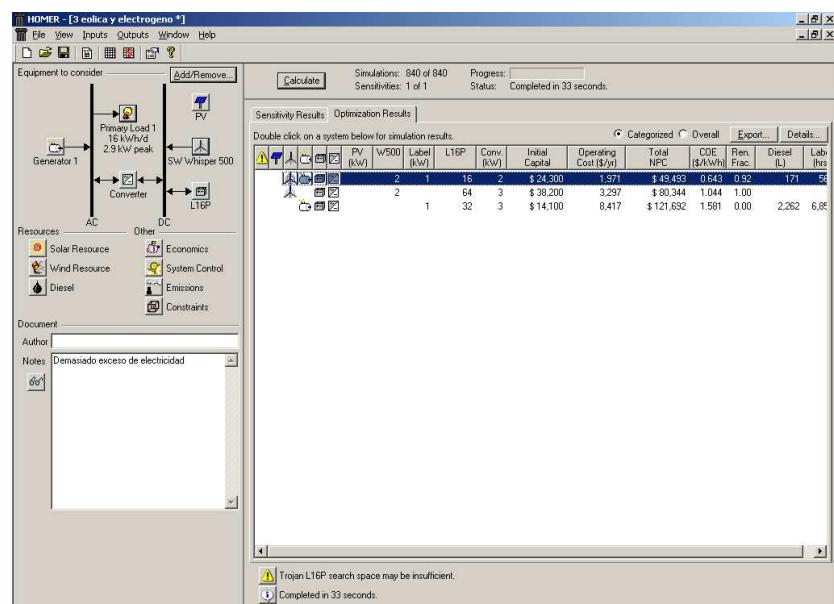


Figura 40. Resultados simulación 3. Se presentan 3 sistemas, uno con solo aerogenerador, otro solo con grupo eléctrico y el último un híbrido eólico-generador. Este último tiene un coste más económico que los otros, debido especialmente a que es más estable y por lo tanto se necesita una capacidad de almacenamiento de energía menor.

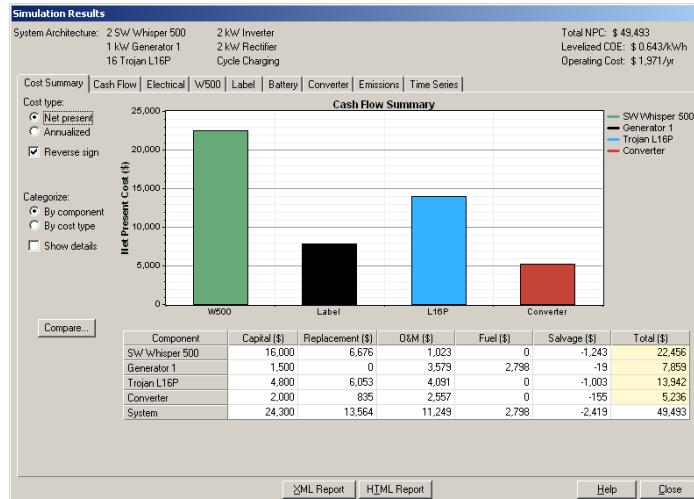


Figura 41. Resumen de costes simulación 3. El aerogenerador será el elemento más costoso en este caso.



Figura 42. Datos eléctricos caso 3. Mayor uso de grupo electrógeno en los meses de marzo, septiembre y octubre.

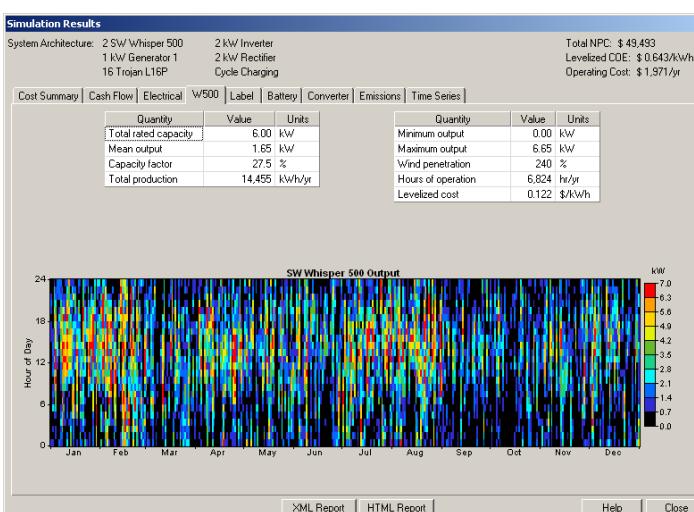


Figura 43. Datos de salida eólica caso 3. Representación gráfica de la potencia de salida del aerogenerador. Las zonas coloreadas de color rojo son los picos de máxima potencia de salida, mientras que el negro es el de menor potencia.

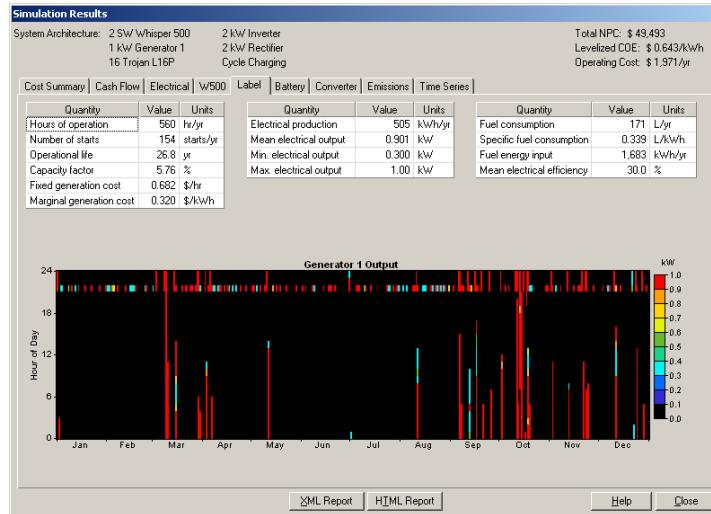


Figura 44. Datos de salida generador caso 3. El color rojo indica picos de máxima potencia de salida.

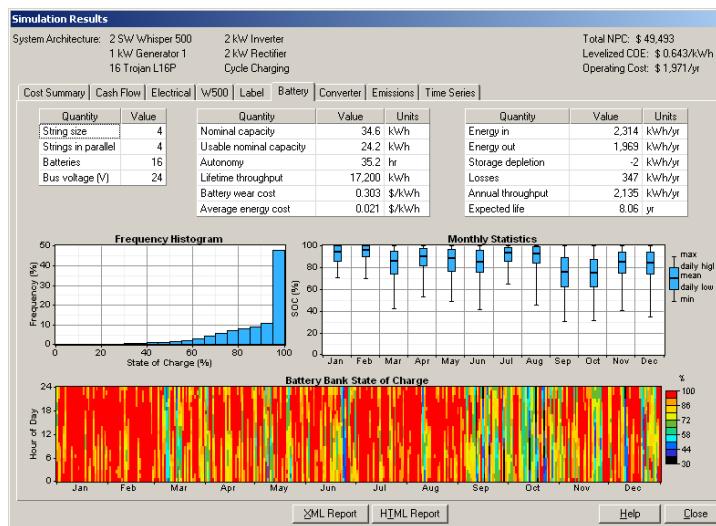


Figura 45. Estado de las baterías caso 3. Sistema más estable con menor cantidad de profundas descargas de las baterías.

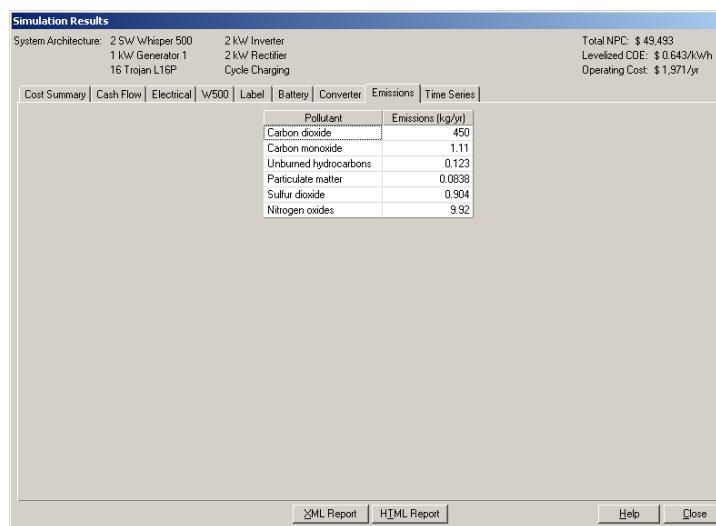


Figura 46. Emisiones caso 3.

## Caso 4: Sistema híbrido de aerogenerador, fotovoltaica y grupo electrógeno para carga eléctrica.

Este sistema simula una instalación de módulos fotovoltaicos de 250 Wp, aerogenerador de 3kW y grupo electrógeno para alimentar las necesidades eléctricas de la vivienda.

- Coste del kWh del sistema más óptimo: 0,504\$/kWh
- Potencia fotovoltaica empleada: 2,25 kW
- Potencia eólica empleada: 3 kW
- Potencia de generador empleada: 1 kW
- Número de baterías: 16

Conclusión: Sistema económico viable, además dispone de todos los recursos que dispone la zona, por lo tanto este tipo de instalación será una de las mejores opciones que se deban de elegir. Muy buena respuesta de las baterías al producirse electricidad durante todo el día procedente de fuente renovable.

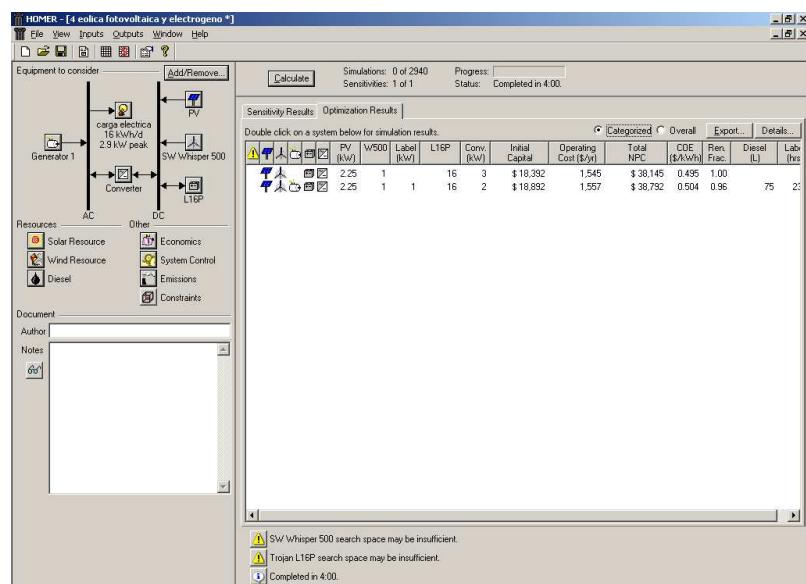


Figura 47. Resultados simulación 4. El sistema sin electrógeno resulta más económico, pero es mejor utilizar un sistema con apoyo.

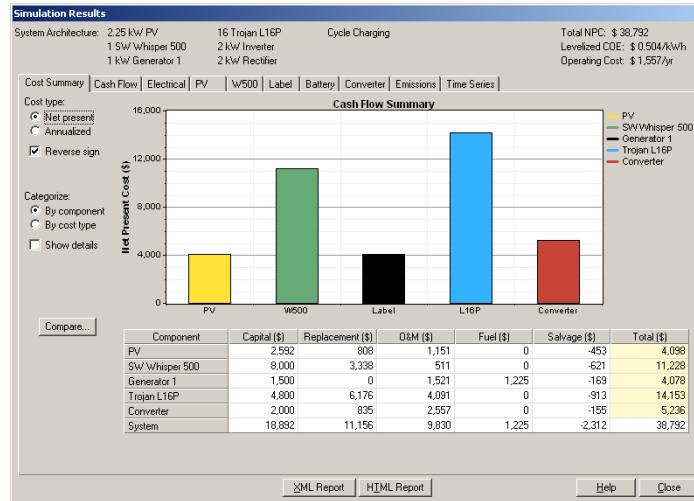


Figura 48. Resumen costes simulación 4. El 75% del coste de la instalación es del aerogenerador y las baterías.

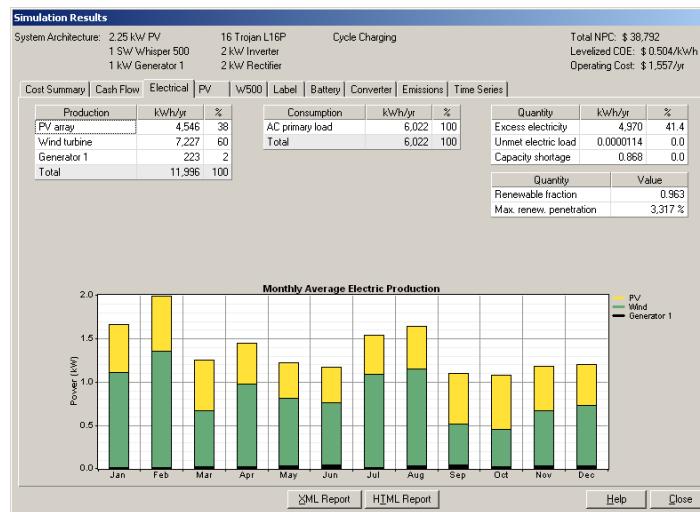


Figura 49. Datos eléctricos caso 4. Se observa un pico de producción eléctrica en febrero. El mes de febrero produce el doble de electricidad que en octubre.

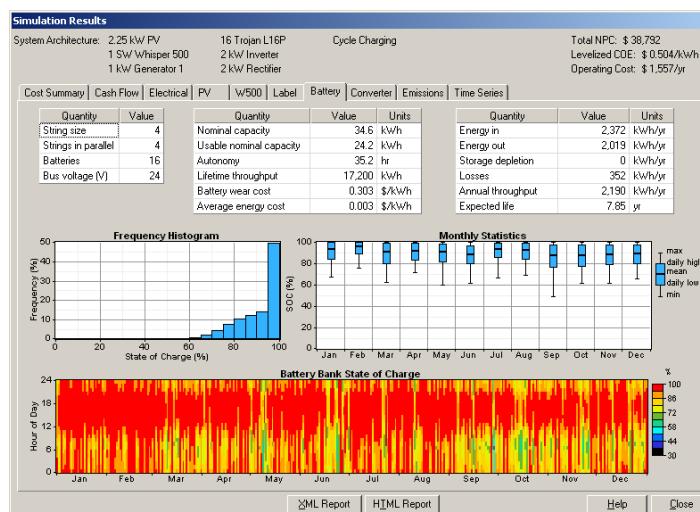


Figura 50. Estado de las baterías caso 4. Como se puede ver, el estado de carga de las baterías es muy estable.

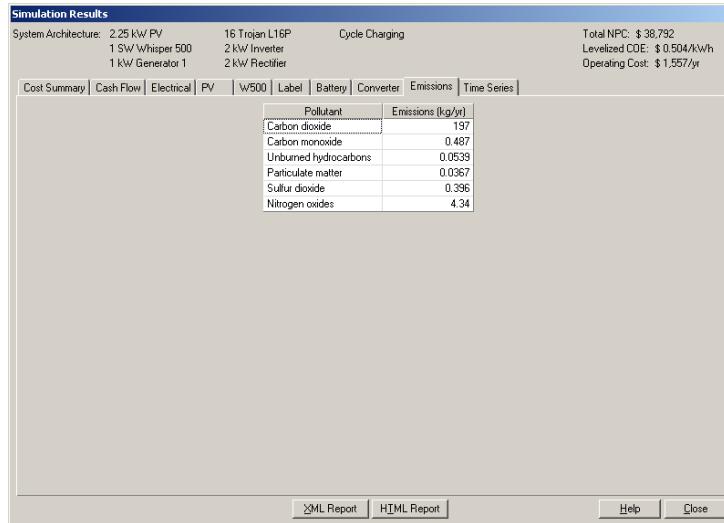


Figura 51. Emisiones caso 4.

## Caso 5: Sistema híbrido de aerogenerador, fotovoltaica y grupo electrógeno para carga eléctrica y ACS.

Este sistema simula una instalación de módulos fotovoltaicos de 250 Wp, aerogenerador de 3kW y grupo electrógeno para alimentar las necesidades eléctricas y ACS de la vivienda. Se presentan dos casos para estudiar su efecto.

### Caso A: Sin grupo electrógeno

- Coste del kWh del sistema más óptimo: 0,454\$/kWh
- Potencia fotovoltaica empleada: 3.25 kW
- Potencia eólica empleada: 3 kW
- Potencia de generador empleada: 0 kW
- Número de baterías: 32
- 

### Caso B: Con grupo electrógeno

- Coste del kWh del sistema más óptimo: 0,467\$/kWh
- Potencia fotovoltaica empleada: 3.50 kW
- Potencia eólica empleada: 3 kW
- Potencia de generador empleada: 1 kW
- Número de baterías: 32

Conclusión: Sistema económico viable, además dispone de todos los recursos que dispone la zona, por lo tanto este tipo de instalación será una de las mejores opciones que se deban de elegir. El caso A es ligeramente más económico al B, gracias a la ausencia de generador, pero la respuesta de las baterías es notablemente mejor en el caso B, que dispone de generador y evita profundas descargas de las baterías. La cantidad de baterías es elevada pero es necesario debido a que ahora trabajamos con dos cargas eléctricas.

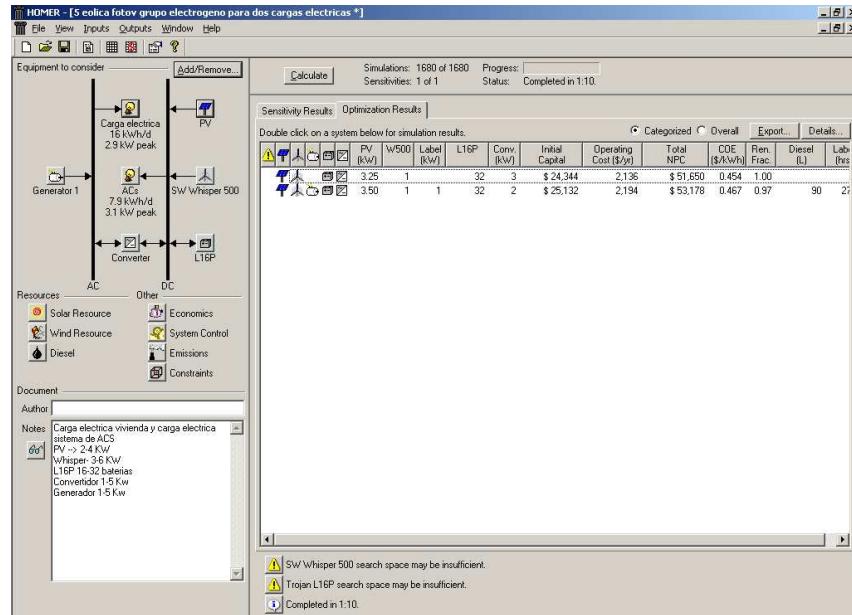


Figura 52. Resultados simulación caso 5.

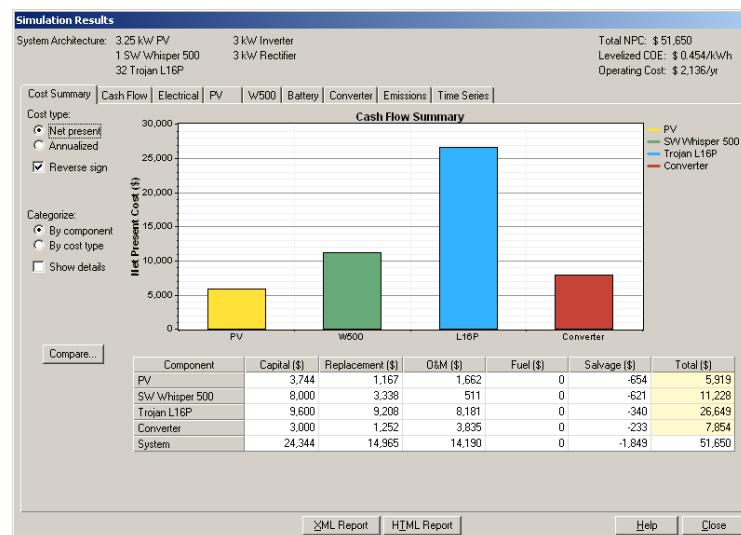


Figura 53. Resumen costes de simulación caso 5 sin electrógeno. El coste de las baterías es el predominante frente a los otros elementos.

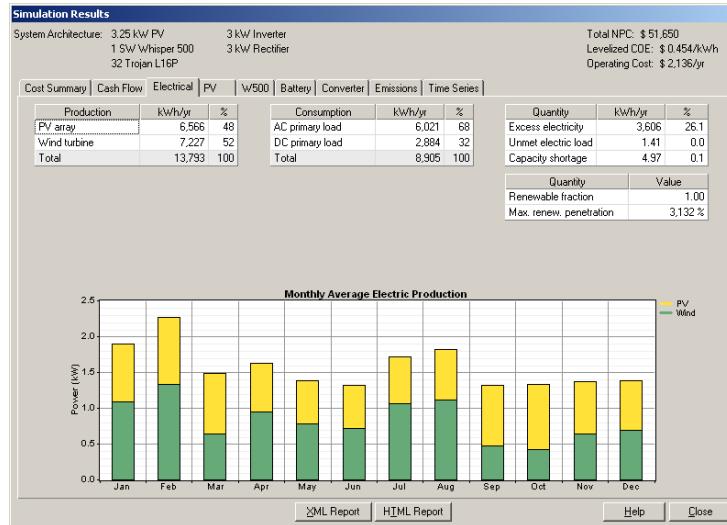


Figura 54. Datos eléctricos caso 5 sin electrógeno. Se observa un pico de producción eléctrica en febrero.

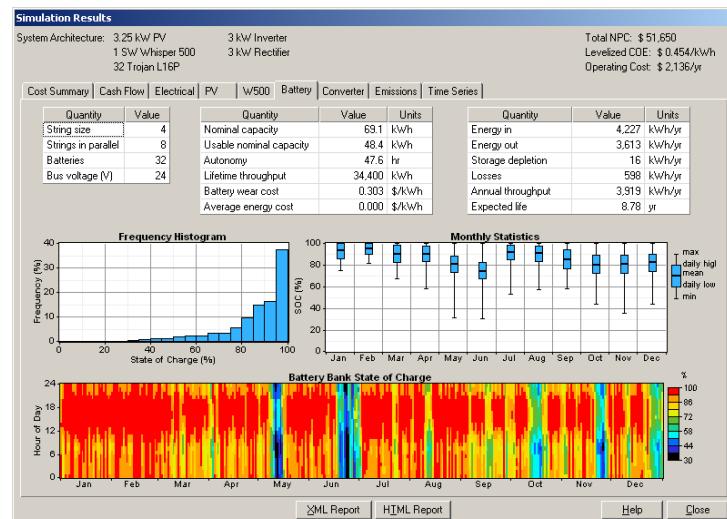


Figura 55. Estado baterías caso 5 sin electrógeno. Se aprecia una ligera probabilidad de una descarga de las baterías de más del 60%.

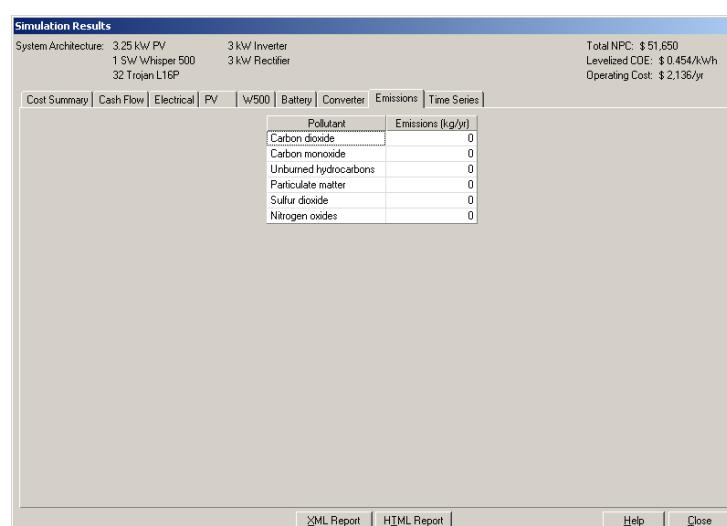


Figura 56. Emisiones caso 5 sin electrógeno.

Con grupo electrógeno:

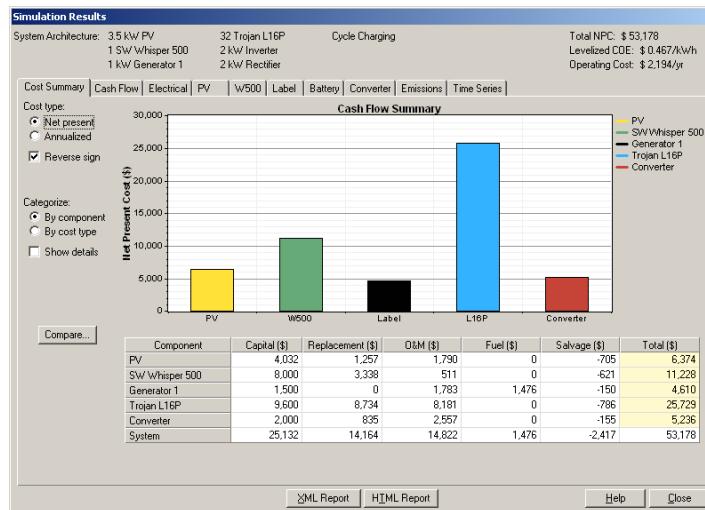


Figura 57. Resumen costes caso 5.



Figura 58. Datos eléctricos caso 5.

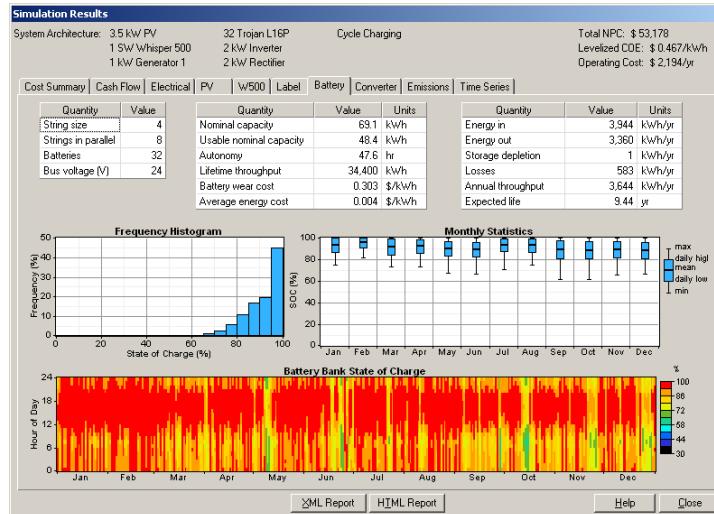


Figura 59. Estado de las baterías caso 5. Al incluir grupo electrógeno, las baterías apenas se descargarán un 30%.

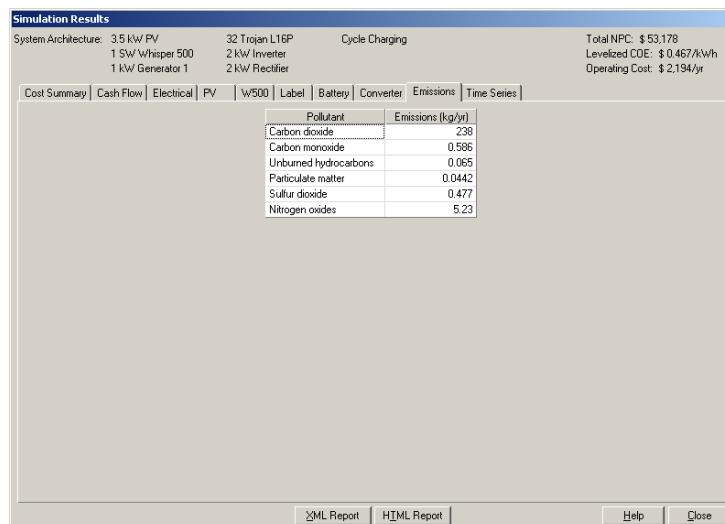


Figura 60. Emisiones caso 5.

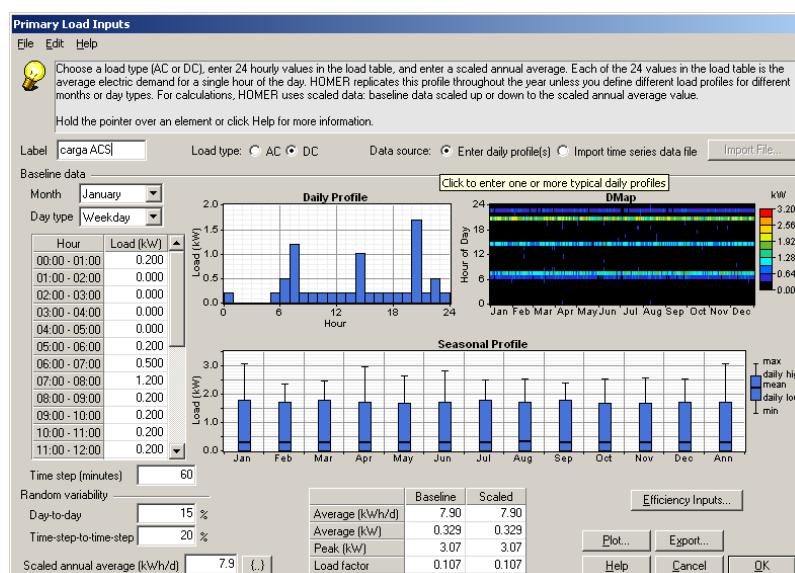


Figura 61. Introducción de carga de ACS. A la izquierda aparece una distribución de las cargas en cada hora del día, en el centro, una representación gráfica de las cargas repartidas.

## Caso 6: Sistema fotovoltaico para carga eléctrica y ACS.

Sistema similar al caso 1, pero esta vez se aplica a dos cargas. Tras observar los resultados de las figuras se obtienen los siguientes resultados:

- Coste del kWh del sistema más óptimo: 0,446\$/kWh
- Potencia fotovoltaica empleada: 5,25 kW
- Potencia eólica empleada: 0 kW
- Potencia de generador empleada: 0 kW
- Número de baterías: 32

Conclusión: Sistema no viable, debido a una fuerte dependencia de la energía solar, sería necesario un grupo electrógeno de apoyo. El banco de baterías va a sufrir profundas descargas y la vida útil se verá afectada.

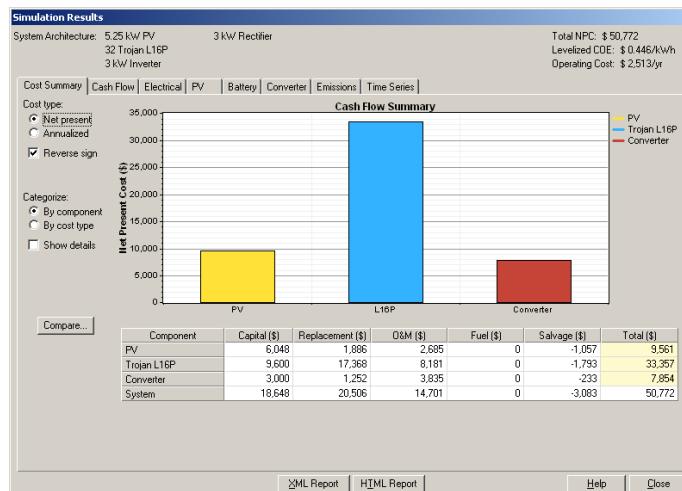


Figura 62. Resumen costes caso 6. Coste de las baterías de aproximadamente un 80% del total.

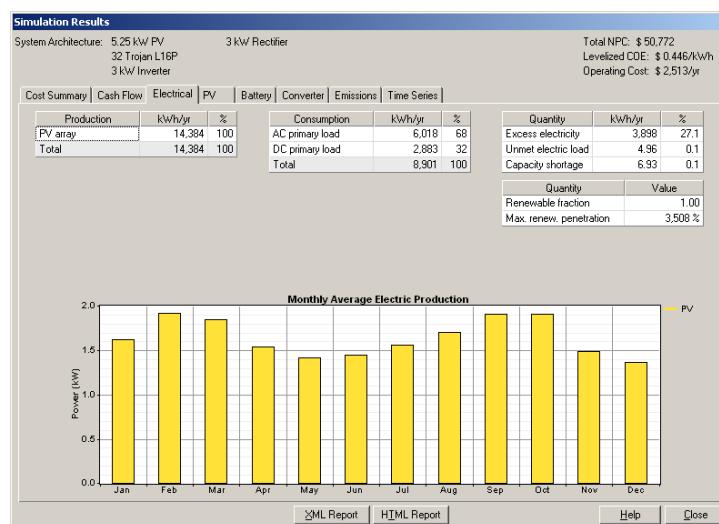


Figura 63. Datos eléctricos caso 6.

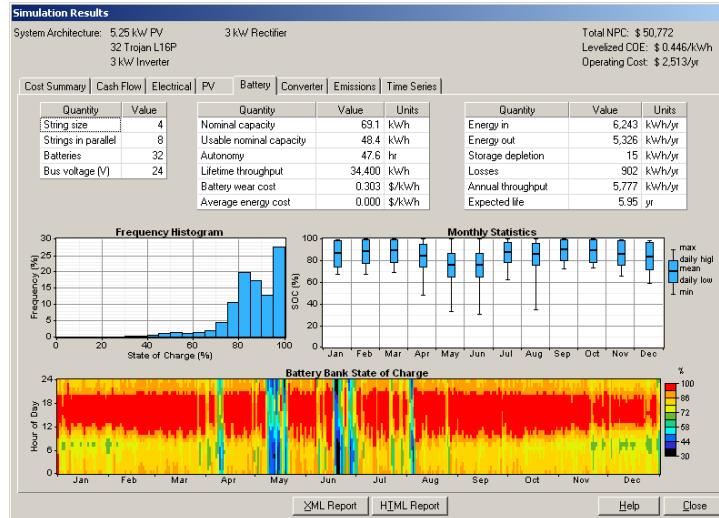


Figura 64. Estado de las baterías caso 6. Se dan situaciones en las que se descargan las baterías más de lo aconsejable.

## Caso 7: Sistema eólico y generador para carga eléctrica y ACS.

Híbrido de aerogenerador y grupo electrógeno. Se utilizaran 3 aerogeneradores para cubrir la demanda energética.

- Coste del kWh del sistema más óptimo: 0,619\$/kWh
- Potencia fotovoltaica empleada: 0 kW
- Potencia eólica empleada: 9 kW
- Potencia de generador empleada: 1 kW
- Número de baterías: 32

Conclusión: Sistema poco rentable por el elevado coste del kWh.

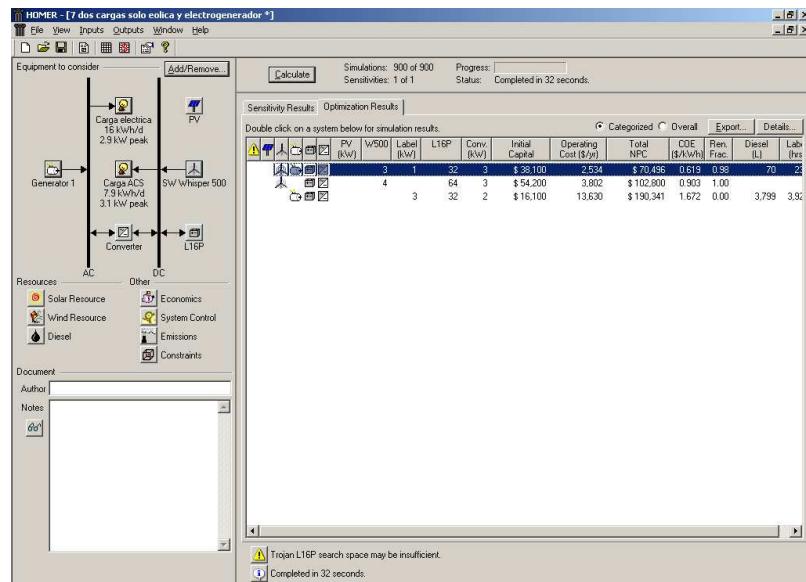


Figura 65. Resultados simulación caso 7 muestra tres sistemas, siendo el eólico con generador el más rentable.

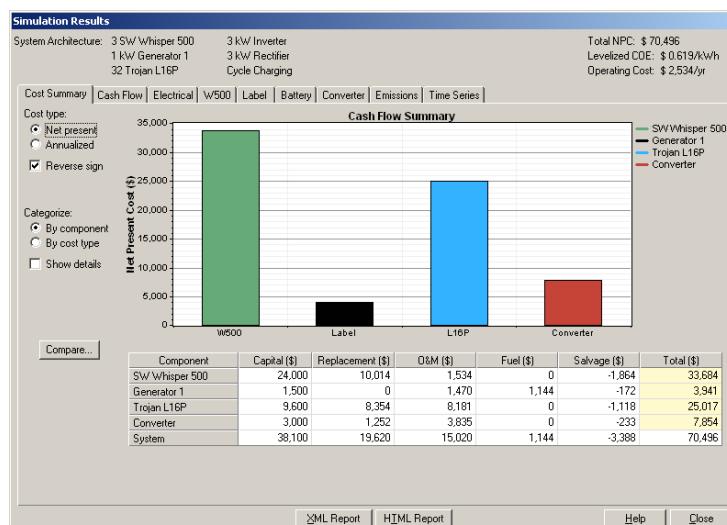


Figura 66. Resumen costes caso 7. Los costes del aerogenerador son superiores que el de las baterías.



Figura 67. Datos eléctricos caso 7.

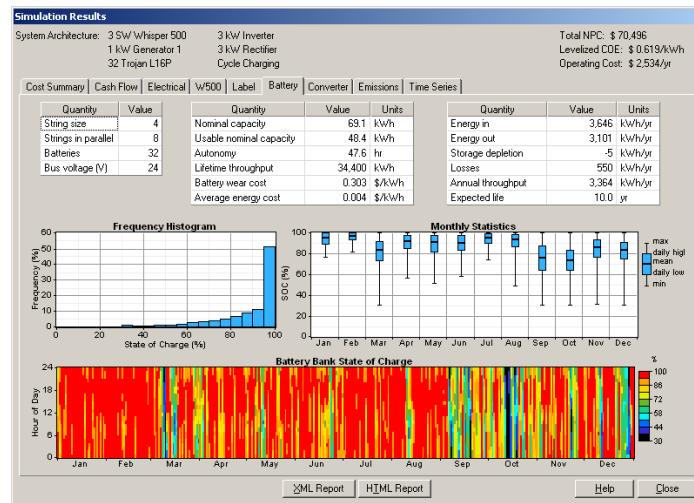


Figura 68. Estado de las baterías caso 7.

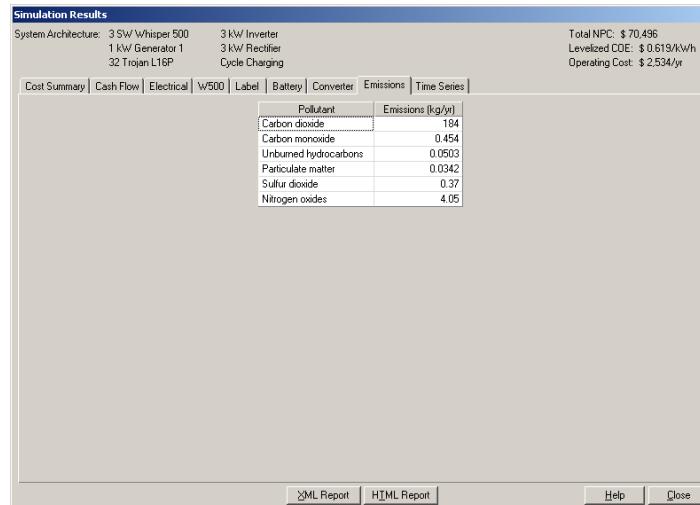


Figura 69. Emisiones.

## Caso 8: Sistema con grupo electrógeno para carga eléctrica y ACS.

Sistema únicamente compuesto por generador eléctrico de gasóleo para cubrir la demanda eléctrica y de ACS

- Coste del kWh del sistema más óptimo: 1,738\$/kWh
- Potencia fotovoltaica empleada: 0 kW
- Potencia eólica empleada: 0 kW
- Potencia de generador empleada: 2 kW
- Número de baterías: 32

Conclusión: Es el peor sistema de todas las simulaciones. Tiene un coste elevado, emite una elevada cantidad de CO<sub>2</sub> y las baterías siempre están por debajo del 80% de carga, cuando es recomendable que la carga esté en un rango de 70-100%.

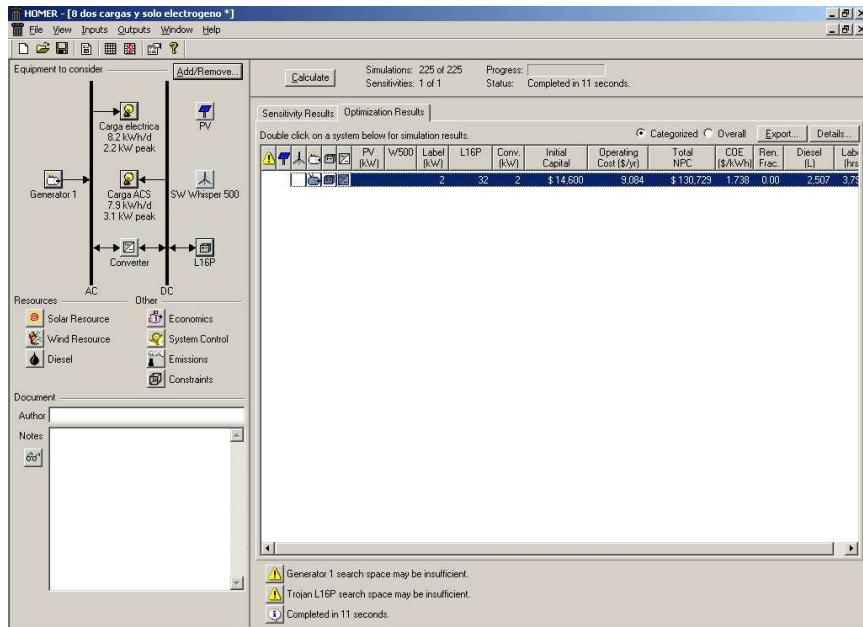


Figura 70. Resultados de simulación caso 8.

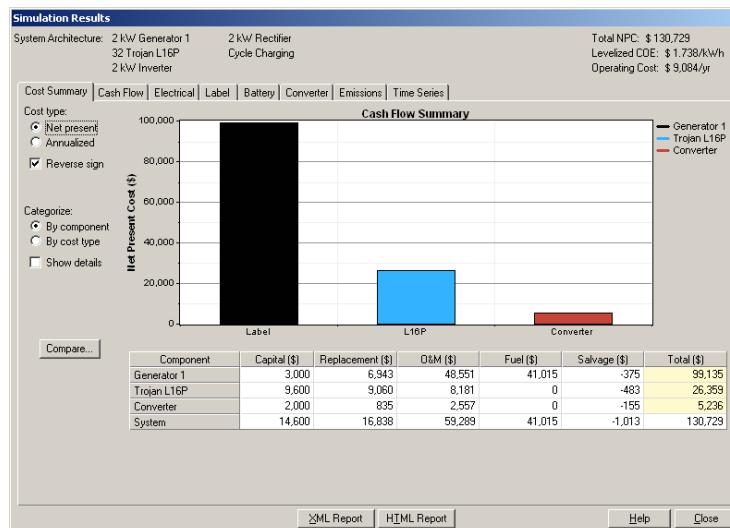


Figura 71. Resumen de costes caso 8. El coste del generador supone un 80% de la inversión total.

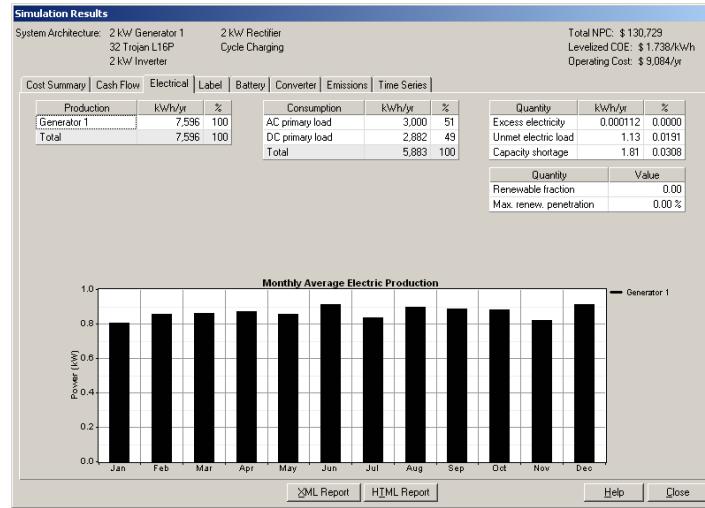


Figura 72. Datos eléctricos caso 8.

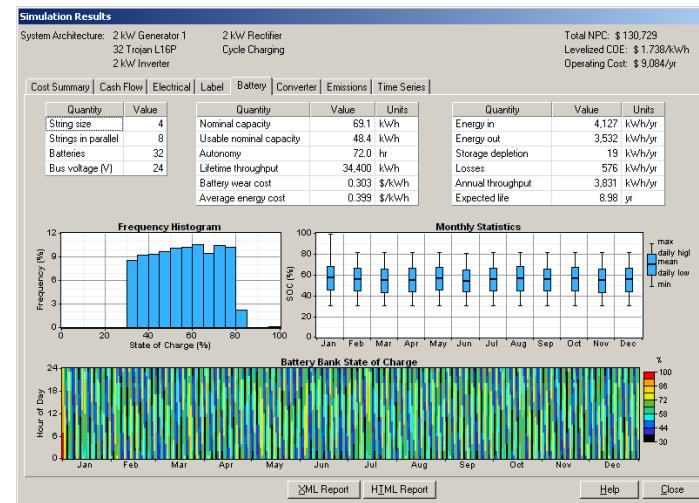


Figura 73. Estado de las baterías caso 8. En la grafica se observa que la carga de las baterías siempre está por debajo del 80% de la carga total.

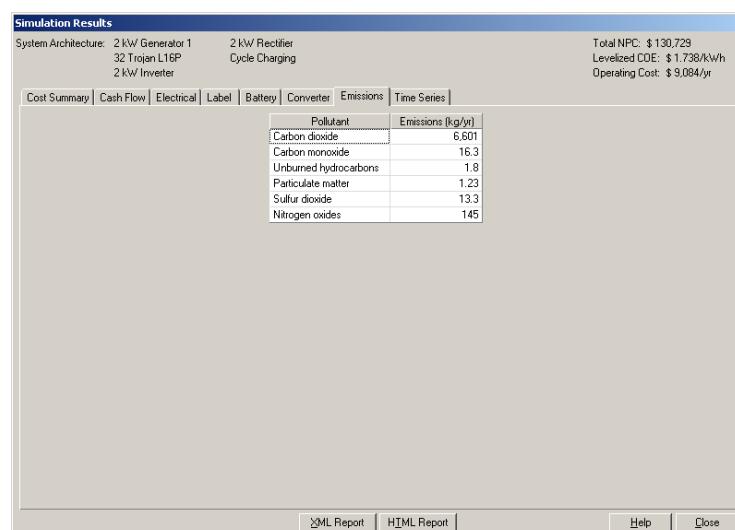


Figura 74. Emisiones caso 8.

## Caso 9: Sistema fotovoltaico para ACS.

Es el mismo caso que en las simulaciones 1 y 6 pero esta vez únicamente se quiere estudiar un sistema que se utilice para el uso de ACS.

- Coste del kWh del sistema más óptimo: 0,740\$/kWh
- Potencia fotovoltaica empleada: 1,25 kW
- Potencia eólica empleada: 0 kW
- Potencia de generador empleada: 0 kW
- Número de baterías: 32

Conclusión: Sistema poco rentable por el elevado coste del kWh, y como en casos anteriores es necesario el uso de un grupo electrógeno de apoyo.

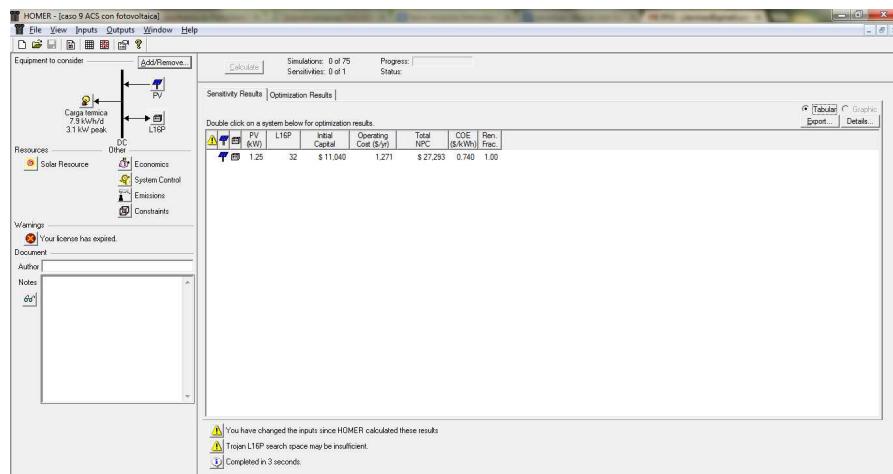


Figura 75. Resultados de simulación caso 9.

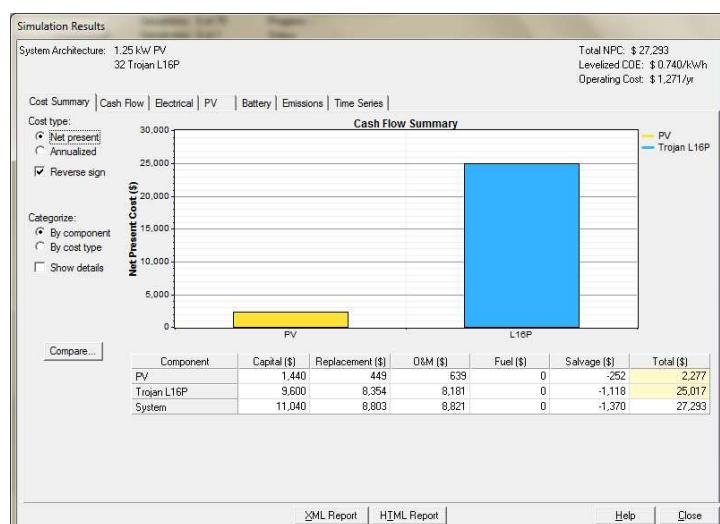


Figura 76. Resumen costes caso 9. El precio de las baterías es muy superior que el de los módulos fotovoltaicos. (25.000\$ frente a 2200\$).



Figura 77. Datos eléctricos caso 9.

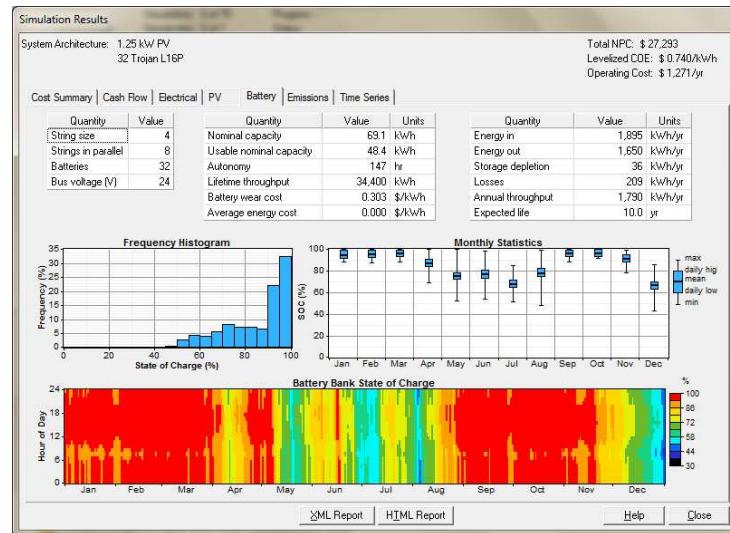


Figura 78. Estado de las baterías caso 9.

## Caso 10: Sistema eólico y fotovoltaico para ACS.

Híbrido de aerogenerador y módulos fotovoltaicos para cubrir la demanda de ACS

- Coste del kWh del sistema más óptimo: 0,996\$/kWh
  - Potencia fotovoltaica empleada: 0,25 kW
  - Potencia eólica empleada: 3 kW
  - Potencia de generador empleada: 0 kW
  - Número de baterías: 32

Conclusión: Sistema poco rentable por el elevado coste del kWh.

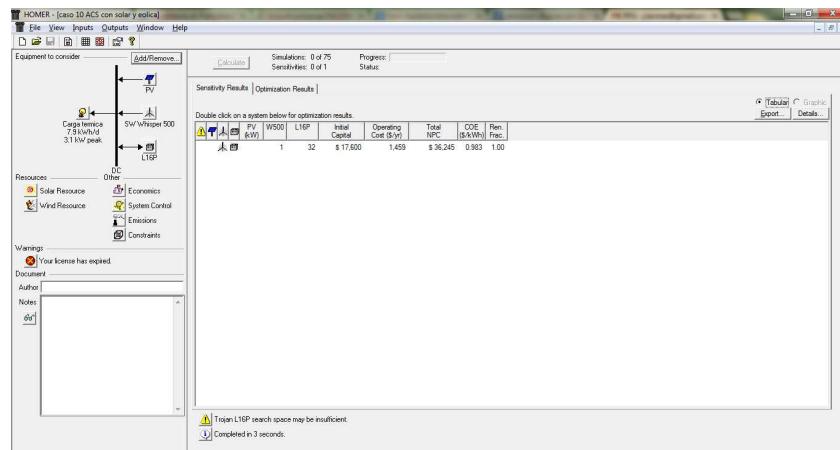


Figura 79. Resultados de la simulación 10.

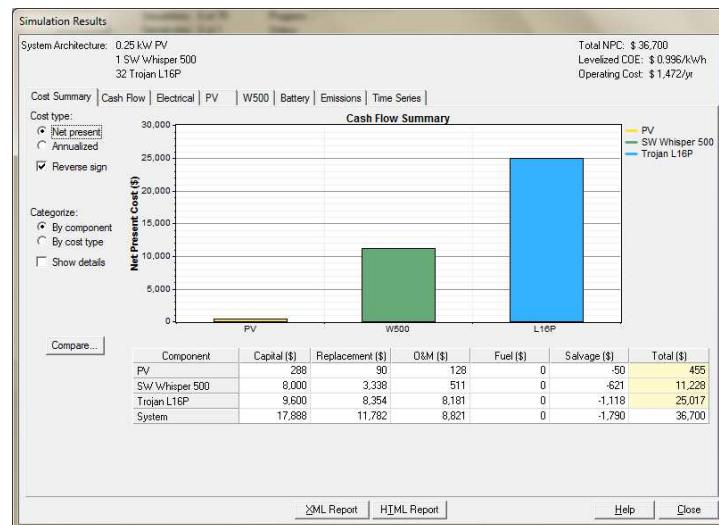


Figura 80. Resumen costes caso 10.



Figura 81. Datos eléctricos caso 10.

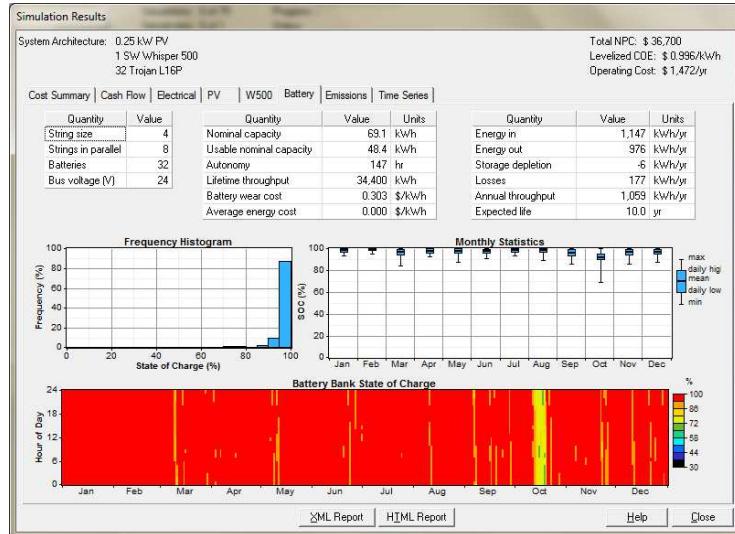


Figura 82. Estado de las baterías caso 10. El estado de las baterías la mayor parte del tiempo será del 100%. Esto indica que es probable que se produzcan sobrecargas.

## Caso 11: Sistema eólico, fotovoltaica y generador para ACS.

Híbrido de aerogenerador, módulos fotovoltaicos y grupo electrógeno.

- Coste del kWh del sistema más óptimo: 1,10\$/kWh
- Potencia fotovoltaica empleada: 0,25 kW
- Potencia eólica empleada: 3 kW
- Potencia de generador empleada: 1 kW
- Número de baterías: 32

Conclusión: Sistema poco rentable por el elevado coste del kWh.

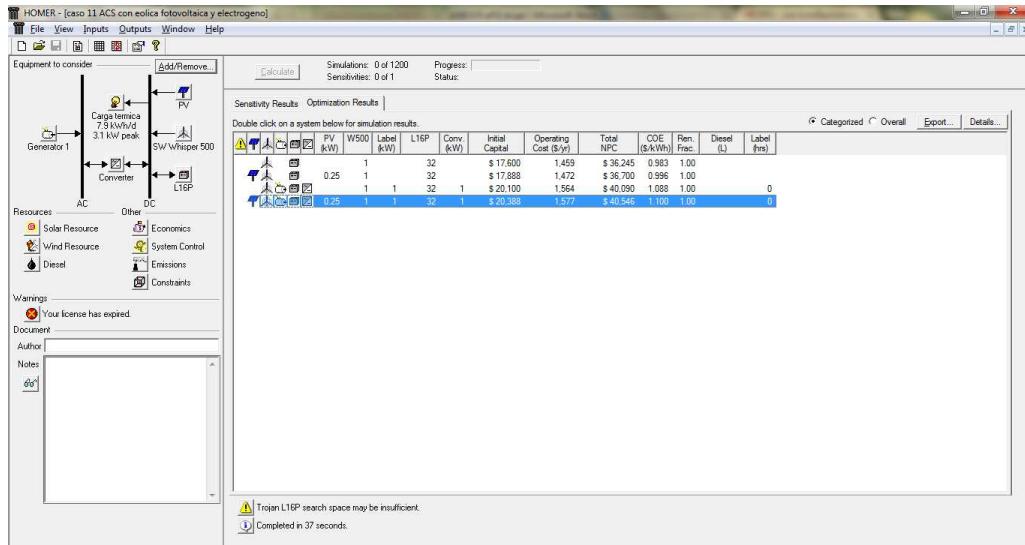


Figura 83. Resultados simulación caso 11.

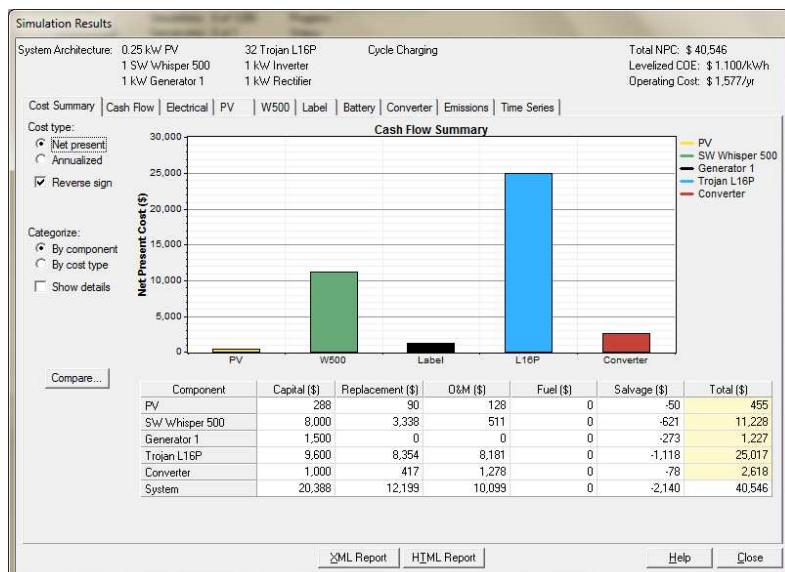


Figura 84. Resumen costes caso 11.



Figura 85. Datos eléctricos caso 11.

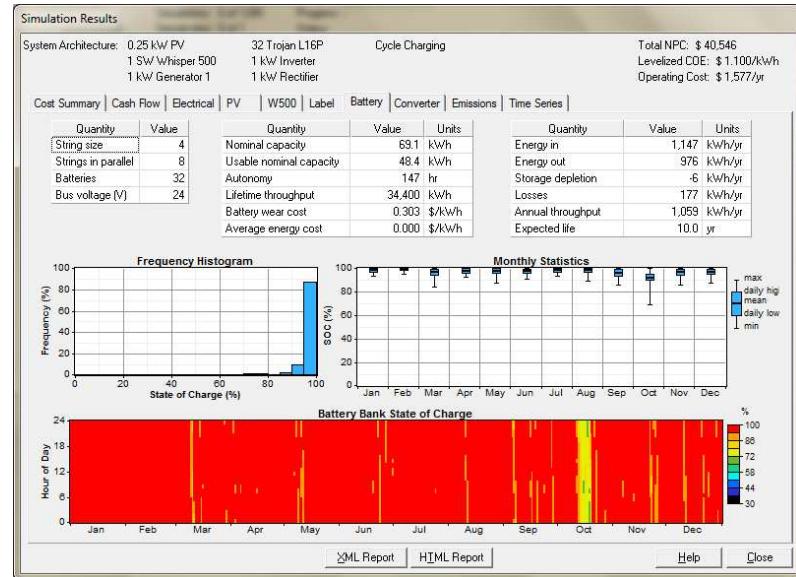


Figura 86. Estado de las baterías caso 11. Sucede lo mismo que el caso anterior. Las baterías sufrirán una sobrecarga debido a que hay superproducción de electricidad.

## Limitaciones

- Aerogenerador: Siempre y cuando la velocidad del viento no supere los 20 m/s de media, un sistema híbrido con miniaerogenerador será muy eficaz.
- Paneles fotovoltaicos: La temperatura en la instalación puede ser un problema en la producción eléctrica de los paneles fotovoltaicos (generalmente las altas temperaturas están relacionadas con una alta radiación). Una alta temperatura provoca caídas de tensión en los módulos y una disminución del rendimiento en estos.

- Aireación: El generador de apoyo debe de colocarse en un lugar bien aireado. La falta de oxígeno puede provocar una mala combustión, y esto conlleva a la disminución del rendimiento del equipo y a un aumento de producción de CO (gas muy peligroso).
- Baterías: Debido a que es el elemento más costoso de la instalación, se tiene que prestar especial atención, eligiendo un número de baterías acorde al tamaño de la instalación. Un sistema con déficit de producción eléctrica, o un exceso de demanda puede perjudicar seriamente a la vida de las baterías. Por lo tanto, es conveniente sobredimensionar el sistema y disponer de varios recursos. A su vez, un sistema con superproducción eléctrica también será perjudicial para el estado de salud de las baterías.
- Precio del combustible: Debido a la incertidumbre de los precios de los combustibles fósiles, es aconsejable no depender fuertemente de ellos, pero hay que disponer de un mínimo apoyo al sistema.

## Ventajas e inconvenientes de algunos sistemas:

- Sistema híbrido Fotovoltaico-electrógeno y eólico-Electrógeno: Se trata de sistemas más simples que el que se ha elegido en el proyecto, y esto conlleva a una menor dependencia del usuario con respecto a la instalación. El problema se encuentra en qué dependen de un único recurso renovable. La energía eólica y fotovoltaica se caracteriza principalmente por ser recursos que no se disponen justamente en el momento que se requieren, por lo tanto se necesita un grupo electrógeno de mayor tamaño.
- Sistema híbrido Fotovoltaico-eólico-electrógeno: Sistema por excelencia para un sistema aislado. Este híbrido es más recomendado que los anteriores. El sistema ya no depende tanto de los combustibles fósiles y además se evitan profundas descargas en el banco de baterías. Se hace más constante la entrada de electricidad y así se alarga la vida útil del sistema.
- Sistema fotovoltaico sin apoyo de grupo electrógeno: Sistema no viable, debido a una fuerte dependencia de la energía solar, sería necesario un grupo electrógeno de apoyo. El número de baterías usado es elevado para el perfil del tipo de carga de la vivienda y sufrirán profundas descargas.
- Sistema basado en grupo electrógeno: Es el peor sistema de todas las simulaciones. Tiene un coste elevado, emite una elevada cantidad de CO<sub>2</sub> y las baterías siempre están por debajo del 80% de carga, cuando es recomendable que la carga esté en un rango de 70-100%.

## ANEXO VI      FICHAS TÉCNICAS

En el siguiente anexo se muestran las fichas técnicas de los elementos más importantes y a la vez costosos del sistema.

Jorge Lecina Sayas

## Anexo 6: Fichas técnicas

En el presente anexo se adjuntan las fichas técnicas de los elementos de mayor relevancia utilizados en el proyecto.

### 1. Aerogenerador Whisper 500



#### Technical Specifications

Rotor Diameter	15 feet (4.5 m)
Weight	155 lb (70 kg)
Shipping Dimensions	Box 1 (body): 36 x 25 x 32 in (914 x 635 x 812 mm) 295 lb (133.8 kg)
	Box 2 (blades): 68 x 12 x 6 in (2285 x 305 x 152 mm) 38 lb (17.2 kg)
	Box 3 (controller): 22 x 15 x 10 in (559 x 381 x 254 mm) 75 lb (35 kg)
Mount	5 in schedule 40 (12.7 cm) pipe
Start-Up Wind Speed	7.5 mph (3.4 m/s)
Voltage	24, 36, 48 VDC (high voltage avail)
Rated Power	3000 watts at 24 mph (10.5 m/s)
Peak Power	3200 watts at 27 mph (12 m/s)
Turbine Controller	Whisper Charge Controller (included)
Body	Welded steel; powder coated protection (not marine grade)
Blades	2-Carbon reinforced fiberglass
Overspeed Protection	Side-furling
Kilowatt Hours/Month	538 kWh/mo at 12 mph (5.4 m/s)
Survival Wind Speed	120 mph (55 m/s)
Warranty	5 year limited warranty



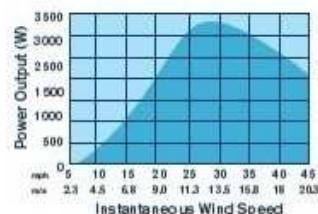
### Whisper 500

#### Serious Power from a Medium Sized Small Wind Turbine

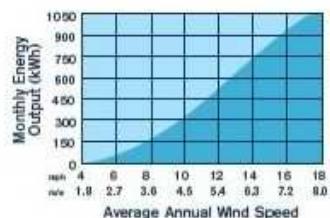
The Whisper 500 can produce enough energy to power an entire home. Assuming a 12 mph (5.4 m/s) wind, a Whisper 500 will produce as much as 500 kWh per month. That is enough energy to power the average California home.

- 5 year warranty
- Durable composite blades
- Powder coated steel body
- Includes Whisper Controller with diversion load and display
- Angle governor protects blades and allows maximum output in any wind

#### POWER



#### MONTHLY ENERGY



#### FIVE YEAR WARRANTY

#### Southwest Windpower

1801 W. Route 66 928.779.9463  
Flagstaff, AZ 86001 USA [www.windenergy.com](http://www.windenergy.com)

Makers of Skystream 3.7® / AIR / Whisper

 Printed on recycled paper using vegetable inks

## 2. Batería Trojan L16P



## L16P-AC DATA SHEET

<b>MODEL:</b>	L16P-AC with Bayonet Cap
<b>VOLTAGE:</b>	6
<b>DIMENSIONS:</b>	Inches (mm)
<b>BATTERY:</b>	Flooded/wet lead-acid battery
<b>COLOR:</b>	Maroon (case/cover)
<b>MATERIAL:</b>	Polypropylene
<b>WATERING SYSTEM:</b>	Single-Point Watering Kit



## PRODUCT SPECIFICATIONS

BO GROUP SIZE	TYPE	CAPACITY <sup>4</sup> Minutes		CAPACITY <sup>5</sup> Amp-Hours (Ah)				ENERGY (kWh)	TERMINAL Type <sup>1</sup>	DIMENSIONS <sup>6</sup> Inches (mm)			WEIGHT <sup>6</sup> (kg)
		#25 Amps	#75 Amps	5-Hr Rate	10-Hr Rate	20-Hr Rate	100-Hr Rate			Length	Width	Height <sup>6</sup>	
<b>6 VOLT DEEP CYCLE BATTERY - with T2 TECHNOLOGY™</b>													
903	L16P-AC <sup>7</sup>	850	220	344	386	420	467	2.80	6	11.66 (296)	6.94 (176)	16.74 (425)	114 (52)

- A. The number of minutes a battery can deliver when discharged at a constant rate of 80°F (27°C) and maintain a voltage above 1.75 V/cell. Capacities are based on peak performance.
- B. The amount of amp-hours (Ah) a battery can deliver when discharged at a constant rate of 80°F (27°C) for the 20-Hour and 100-Hour rates and 60°F (16°C) for the 5-Hour rate and maintain a voltage above 1.75 V/cell. Capacities are based on peak performance.
- C. Dimensions are based on neutral size. Dimensions may vary depending on type of handle or terminal.
- D. Dimensions taken from bottom of the battery to the highest point on the battery. Heights may vary depending on type of terminal.
- E. Terminal images are representative only.

Trojan battery testing procedures adhere to both IEC and UL test standards.

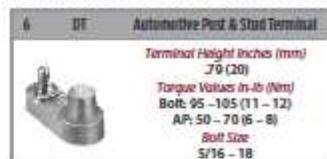
## CHARGING INSTRUCTIONS

## CHARGER VOLTAGE SETTINGS (AT 77°F/25°C)

System Voltage	6V	12V	24V	36V	48V
Daily Charge	7.40	14.8	29.6	44.4	59.2
Float	6.60	13.2	26.4	39.6	52.8
Equalize	7.75	15.5	31.0	46.5	62.0

Do not install or charge batteries in a sealed or non-ventilated compartment. Constant under or overcharging will damage the battery and shorten its life as with any battery.

## TERMINAL CONFIGURATIONS



Terminal Height Inches (mm)  
79 (20)  
Torque Values in-lb (Nm)  
Bolt: 95–105 (11–12)  
AP: 50–70 (6–8)  
Bolt Size:  
F156-18



## CHARGING TEMPERATURE COMPENSATION

.028 VPC for every 10°F (5.55°C) above or below 77°F (25°C) (add .028 VPC for every 10°F (5.55°C) below 77°F and subtract .028 VPC for every 10°C above 77°F).

## OPERATIONAL DATA

Operating Temperature	Self Discharge
-4°F to 113°F (-20°C to +45°C). At temperatures below 32°F (0°C) maintain a state of charge greater than 60%.	5 - 15% per month depending on storage temperature conditions.

### 3. Colector solar de tubos de vacío U PIPE.



#### Colectores solares

##### Colectores de tubos de vacío U PIPE

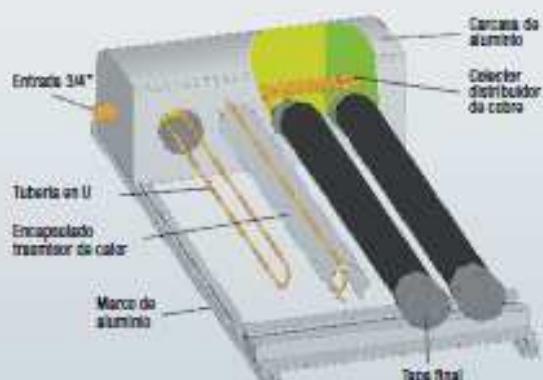
En cada tubo de vacío hay una tubería en U de flujo directo conectado como el resto de colectores tubulares al circuito primario. Esta tubería en U está en contacto con una alesta de aluminio transmísora de calor en el interior del tubo de vacío que transmite el calor desde el interior del tubo hacia la tubería en U.

La radiación solar penetra el tubo exterior de cristal y es capturada en el exterior del tubo de cristal interior por una capa difusora altamente selectiva. La captación de radiación solar es transmitida hacia una alesta de aluminio de contacto superficial y, desde ésta, hacia la tubería de cobre que contiene el fluido caloportador. Los 300° de la alesta de aluminio transmísora de calor aseguran la más rápida transferencia de energía.



Los colectores se suministran en embalaje individual debidamente paletizado, con los tubos recubiertos de poliéster, lo que asegura una máxima fiabilidad en el transporte, y sobre un soporte de aluminio para fijarlo al sistema de soportación de la instalación.

Modelo		AKS 10-470/1000	AKS 20-54/1000
Colector		5004201	5004301
Dimensiones Altura	mm	870 x 1630 x 156	1672 x 1630 x 156
Peso:	kg	25	52
Nº de tubos:		30	20
Diametro, tubo de cobre	mm	8	8
Diametro, longitud	mm	471500	521800
TUBO DE VACÍO			
S. Total	m <sup>2</sup>	1,36	1,21
S. Aportes	m <sup>2</sup>	0,67	0,33
Peso, m3, func.	kg	6	6
T <sub>g</sub>			
α, W/m <sup>2</sup> /K		0,4	2,64
Comprobado		GPS-0246	GPS-0247
Homologado			



## 4. Módulo fotovoltaico de 250 Wp.



**S60PC**  
60 Cell Modules

**225 - 250W SOLAR PANEL**  
EXCEPTIONAL EFFICIENCY AND PERFORMANCE /  
EFICIENCIA Y DESEMPEÑO EXCEPCIONAL

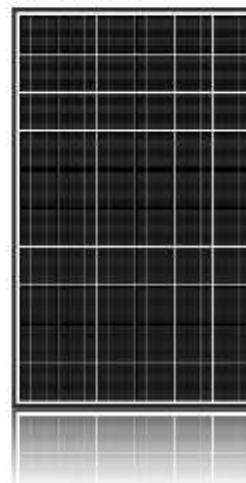
**BENEFITS / BENEFICIOS**

**High Efficiency / Alta Eficiencia**  
High cell efficiency of up to 16.8%.  
Líder en la industria empleando celdas polícrstalinas con eficiencias de hasta 16.8%.

**More Power / Mayor Potencia**  
Delivers up to 50% more power per unit area than conventional solar panels and 100% more than thin film solar panels.  
Ofrece hasta un 50% más de potencia por unidad de área a comparación de los paneles solares convencionales y un 100% más que los paneles solares de película delgada.

**Reduces Installation Cost / Reducción en Costos de Instalación**  
More power per panel means fewer modules per installation. This saves both time and money.  
Mas potencia por panel significa menos módulos por instalación. Esto ahorra tanto tiempo como dinero.

**Reliable and Robust Design / Diseño Robusto y Confiable**  
Certified materials, tempered front glass, and a sturdy anodized frame allows the module to operate reliably in multiple mounting configurations.  
Materiales certificados, cristal templado y un robusto marco anodizado el cual permite al módulo operar sin problema alguno y en múltiples configuraciones de montaje.



**Solartec 225 - 250W solar modules provide industry leading efficiency and performance.**  
Utilizing 60 next generation solar cells and an optimized module design, Solartec S60PC solar module deliver an unprecedented total conversion efficiency of 15.29%. Solartec 225 - 250W modules reduced voltage - temperature coefficient, and exceptional low - light performance attributes, provide far higher energy delivery at peak power than conventional modules.

**Los módulos solares Solartec de 225 - 250W proveen un liderazgo incomparable en la industria gracias a su eficiencia y desempeño.**  
El módulo solar Solartec S60PC utiliza 60 celdas solares de última generación, gracias al diseño de módulo, permite tener una eficiencia de hasta 15.29%. El reducido valor del coeficiente de voltaje-temperatura, y su desempeño excepcional en condiciones de baja iluminación permiten a los módulos de 225 - 250W entregar mucha mayor energía en condiciones de potencia máxima, en comparación con los módulos convencionales.

Tested Operating Conditions / Condiciones de Operación	
Temperature / Temperatura	40°C (0 to +90°C) / 40°C (0 a +90°C)
Pressure / Presión	50psi (2100 pascals) / front and back
Impact Resistance / Resistencia al Impacto	Ball 2.5mm (1 in.) at 20 m/s (72mph)
Coning Glass MIL / Vidrio de borde	IEC 61215 / IEC 61730

**S60PC**

83

## 5. Caldera de biomasa bioclass 9 kW.

### BIOCLASS Caldera a pellets

Modulación electrónica  
Limpieza automática  
Facilidad de instalación  
4 POTENCIAS: de 9, 15, 25 y 42 kW



calderas a pellet

BioClass

Modelo	Potencia nominal kW	Rendimiento a potencia nominal %	Potencia carga parcial kW	Rendimiento a carga parcial %	Tiro chimenea Pa	Peso kg	Volumen L	Código	Precio €
BioClass 9	9,4	92,4	2,5	88,3	15/20	211,4	46	TBI000000	3.600
BioClass 15	15	95,5	3,9	91,5	15/20	230,0	55	TBI000001	3.750
BioClass 25	24,9	93,1	6,1	91,2	15/20	297,0	73	TBI000002	3.985
BioClass 42	42,5	93,1	12,7	91,2	15/20	347,0	104	TBI000005	4.495

Opciones	Código	Precio €
Sonda acumulador A.C.S	C ELC000291	15
Centro de compresor 9	TNTBIO002	480
Centro de compresor 15	TNTBIO003	490
Centro de compresor 25	TNTBIO004	500
Depósito reserva L	TBI000004	375
Depósito reserva S	TBI000003	315
Kit hidráulico DMS	TNTBIO001	924
Kit hidráulico MS	TNTBIO000	810
Depósito de inercia BT 100 M (100 l instalación mural)	TDBTO0004	460
Depósito de inercia BT 100 (100 L)	TDBTO0000	450
Depósito de inercia BT 150 (150 L)	TDBTO0001	475
Depósito de inercia BT 200 (200 L)	TDBTO0002	500
Depósito de inercia BT 250 (250 L)	TDBTO0003	540
Kit A SPIRATION (Ver pág. 9)	TNTBIO005	1.225
Silo 2.2 (Con cubeta de acoplamiento y toma Storz Capacidad 1,5 / 2,2 Tm) (1,7 x 1,7 x 2,5 m)	TKTBI0008	2.180
Silo 3.2 (Con cubeta de acoplamiento y toma Storz Capacidad 2,2 / 3,2 Tm) (2 x 2 x 2,5 m)	TKTBI0009	2.385
Silo 5.0 (Con cubeta de acoplamiento y toma Storz Capacidad 3,4 / 5,0 Tm) (2,5 x 2,5 x 2,5 m)	TKTBI0010	2.615
Kit de acoplamiento para depósito L	TKTBI0007	35
Tubo flexible (15 m)		200