



Capítulo 5: Validación de la aplicación

Para validar la aplicación se han generado dos informes de operación reales, uno de ellos diario correspondiente al día 13/09/05 y el otro periódico, correspondiente a los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre de 2005. Estos informes están *basados* en los generados por la propia aplicación es decir su contenido no es exactamente el que muestra un informe generado directamente por la aplicación. En particular, en el informe periódico se ha incluido un resumen mensual que en el informe original no aparece.

Como podrá comprobarse, existe duplicidad en algunas de las informaciones mostradas por ambos informes. El motivo de ello es la pretensión de mantener un fiel reflejo del contenido de cada informe generado por la aplicación aun cuando dichos informes formen parte de un documento de jerarquía superior como el presente.

Ha quedado patente a lo largo de este documento que los informes no son, en esencia, el resultado de un análisis del comportamiento del sistema. Más bien se trata de un recurso para la presentación de la información. Corresponderá al analista, a la luz de los resultados mostrados, completar el informe con toda aquella información que considere de interés.



5.1. Informe de operación diario

STC Disco - Parabólico

INFORME DE OPERACIÓN DIARIO

Fecha de operación evaluada: 13/09/2005

Fecha de emisión: 13/07/2006

**Escuela Superior de Ingenieros - Universidad de Sevilla –
Camino de los Descubrimientos S/N – 41092 – Sevilla**



Introducción

En marzo de 2004 se finalizó la instalación de un disco parabólico con motor Stirling en las proximidades de la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla. Este sistema está integrado en un proyecto ,denominado EnviroDish, por el que se prevé la instalación de varias de estas unidades en distintos países con el fin de recabar información fiable sobre el funcionamiento de estos sistemas y los costes de instalación y O&M que ayuden a mejorar este tipo de tecnología. El CENTER, como socio local del proyecto, en colaboración con la Junta de Andalucía, Endesa Distribución y Solúcar, preparó la infraestructura requerida y en la actualidad es el responsable de la operación y el mantenimiento del sistema con el apoyo de DLR¹ y SBP² . Además de los objetivos propios del proyecto EnviroDish, el disco parabólico pretende extender las actividades del CENTER en el campo de los sistemas solares de concentración a esta tecnología, de especial importancia en el escenario actual donde cobran cada vez más relevancia la producción distribuida de energía.

La unidad ubicada en la ESI presenta la particularidad de estar conectada a la red de distribución . La energía es vendida a la compañía distribuidora local acogándose al *Régimen Especial* de producción de energía eléctrica.

Breve descripción del sistema

Los principales elementos del Sistema EuroDish de 10 kW de potencia nominal instalado en la ESI – Sevilla son: el concentrador, el sistema de accionamiento,

¹ Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt e. V. (German Aerospace Center)

² Schlaich, Bergemann und Partner, GbR.



estructura soporte, el motor SOLO 161 Stirling con recibidor tubular, el alternador, el sistema de refrigeración (air – cooled) y el sistema de control. El concentrador tiene un diámetro de apertura de 8,5 m y está fabricado con fibra de vidrio reforzada y delgadas láminas de vidrio especular. La estructura soporte consta de: una base hexagonal dotada de seis ruedas en los vértices del hexágono; el soporte del concentrador compuesto por tres anillos concéntricos dos de igual diámetro y un tercero, sobre el que se apoya el concentrador, algo menor; el soporte del motor y dos arcos guía para los movimientos de Acimut y elevación dotados con sendos servomotores de accionamiento, cajas de cambio y cadenas de tracción. El sistema de control consta de un PC de control y un conjunto de microcontroladores locales conectadas ambas partes por un bus de campo (interbus). La representación esquemática del sistema disco – parabólico de la ESI se muestra en la **Figura 33**

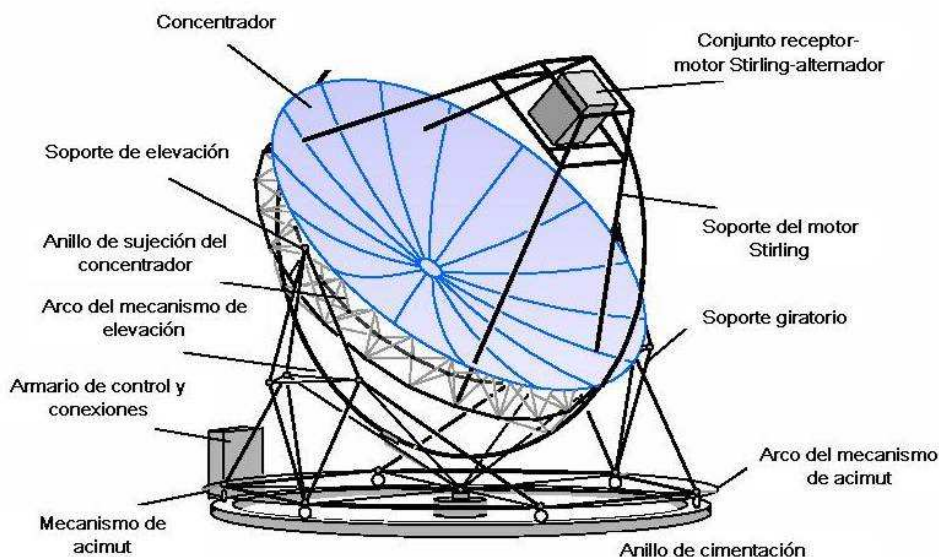


Figura 1: Esquema del sistema EuroDish de la ESI – Sevilla (informe diario)



Descripción de parámetros

Los parámetros que constituyen la base de este informe se describen a continuación:

- **Irradiancia Medida Ubicación (W/m^2):** corresponde a la irradiancia medida por medio de un pirheliómetro ubicado en las proximidades del sistema del disco parabólico. Los datos proporcionados por pirheliómetro conforman la denominada *Base de Datos Local*.
- **Irradiancia Medida Disco (W/m^2):** corresponde a la irradiancia medida mediante un sensor fotovoltaico en el propio disco. Los datos proporcionados por el sensor fotovoltaico conforman la denominada *Base de Datos Estándar*.
- **Temperatura en Cabeza del Recibidor ($^{\circ}C$):** corresponde a la medida de temperatura que arroja el termopar de cabeza del recibidor del motor SOLO. Esta temperatura se aproxima de manera bastante fiel a la temperatura máxima que adquiere el fluido de trabajo a lo largo del ciclo termodinámico que describe.
- **Temperatura Máxima del Recibidor ($^{\circ}C$):** temperatura máxima alcanzada en el recibidor del motor SOLO. Tiene un límite, fijado por la resistencia mecánica de los materiales, situado en $800^{\circ}C$.
- **Potencia producida (W, kW):** corresponde a la potencia bruta producida por el sistema, medida a la salida del motor SOLO. No corresponde a la potencia a la que se cede energía a la red.



-
- **Potencia Recibida con $\text{DNI} > 340 \text{ W/m}^2$ (W, kW):** corresponde a la potencia, obtenida a partir de las medidas de irradiancia y del área del concentrador, que recibe el sistema en el tiempo de operación potencial del mismo. Las siglas DNI (del inglés *Direct Normal Insolation*) representan la irradiancia directa normal. El sistema tiene una irradiancia de funcionamiento umbral de 340 W/m^2 por debajo de la cual no entra en operación.
 - **Potencia Recibida en Tiempo de Operación (W, kW):** corresponde a la potencia, obtenida a partir de las medidas de irradiancia y del área del concentrador, que recibe el sistema cuando éste se encuentra en funcionamiento ($\text{RPM} > 0$).
 - **Presión en el Motor (bar):** corresponde a la presión del fluido de trabajo (hidrógeno) en el interior del motor SOLO.
 - **Presión en el Tanque de Hidrógeno (bar):** corresponde a la presión del fluido de trabajo en el recipiente contenedor del mismo.
 - **Rendimiento Bruto con $\text{DNI} > 340 \text{ W/m}^2$ (%):** corresponde a las medidas del rendimiento del sistema considerando las descripciones de la potencia producida y la potencia recibida con $\text{DNI} > 340 \text{ W/m}^2$ dadas anteriormente.
 - **Rendimiento Bruto en Tiempo de Operación (%):** corresponde a las medidas del rendimiento del sistema considerando las descripciones de la potencia producida y la potencia recibida en tiempo de operación dadas anteriormente.
-



- **Rendimiento Neto con $\text{DNI} > 340 \text{ W/m}^2$ (%)**: corresponde a las medidas del rendimiento del sistema considerando que a la potencia producida se sustraen los autoconsumos y las pérdidas del sistema. La base de cálculo es la potencia recibida con $\text{DNI} > 340 \text{ W/m}^2$.
- **Rendimiento Neto en Tiempo de Operación (%)**: corresponde a las medidas del rendimiento del sistema considerando que a la potencia producida se sustraen los autoconsumos y las pérdidas del sistema. La base de cálculo es la potencia recibida en tiempo de operación.

Principales parámetros de operación

Medidas de irradiancia

En la **Figura 34** se muestra la evolución temporal de la irradiancia medida con pirheliómetro en la inmediaciones del disco y con sensor fotovoltaico en el propio disco.



Traza temporal de la irradiancia medida en la ubicación del
disco y en el propio disco.

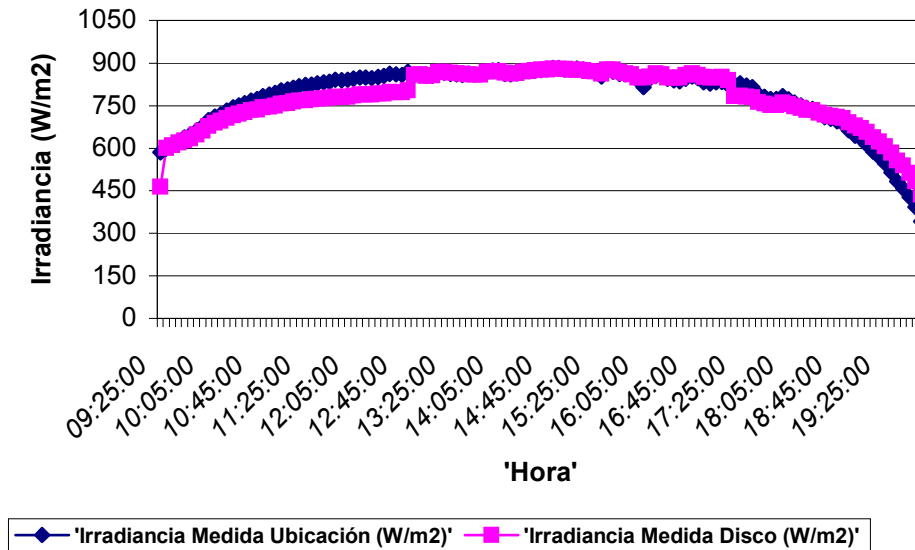


Figura 2: Evolución temporal de la irradiancia medida con pirheliómetro y con sensor fotovoltaico

Generalmente, la evolución de ambas curvas serán muy parecidas, casi deben superponerse. Sin embargo es frecuente que aparezcan disparidad de valores medidos por uno y otro dispositivo.

Para la elaboración del presente informe, tras revisar la fiabilidad de una y otra fuente, se acuerda el empleo de la curva de irradiancia medida en la ubicación del disco (BdD Local) como base de cálculo, asumiendo las imprecisiones que pudieran derivarse de su uso.

Independientemente de la fuente adoptada, dado que los valores que en la figura se muestran están tomados en tiempo de operación del sistema, se puede comprobar en qué momentos ha estado el disco en operación aun cuando la irradiancia ha sido menor que el umbral de funcionamiento (340 W/m^2).



Evolución temporal de las temperaturas

El ciclo de Stirling, del que hace uso el sistema, trabaja entre dos temperaturas: la del foco caliente, temperatura en la cabeza del receptor, y la del foco frío, temperatura ambiental. Teniendo en cuenta la definición del rendimiento termodinámico del ciclo de Carnot, cuanto mayor sea la diferencia entre ambas temperaturas, mayor será el rendimiento termodinámico del sistema.

En la se muestra la evolución temporal de la temperatura en la cabeza del receptor y de la máxima temperatura en el receptor. Como cabría esperar, la temperatura en la cabeza del receptor siempre es menor que la máxima que a su vez está limitada por la resistencia de los materiales a 800 °C. Llegado a este límite el sistema pone en marcha el dispositivo de refrigeración (ventilador).

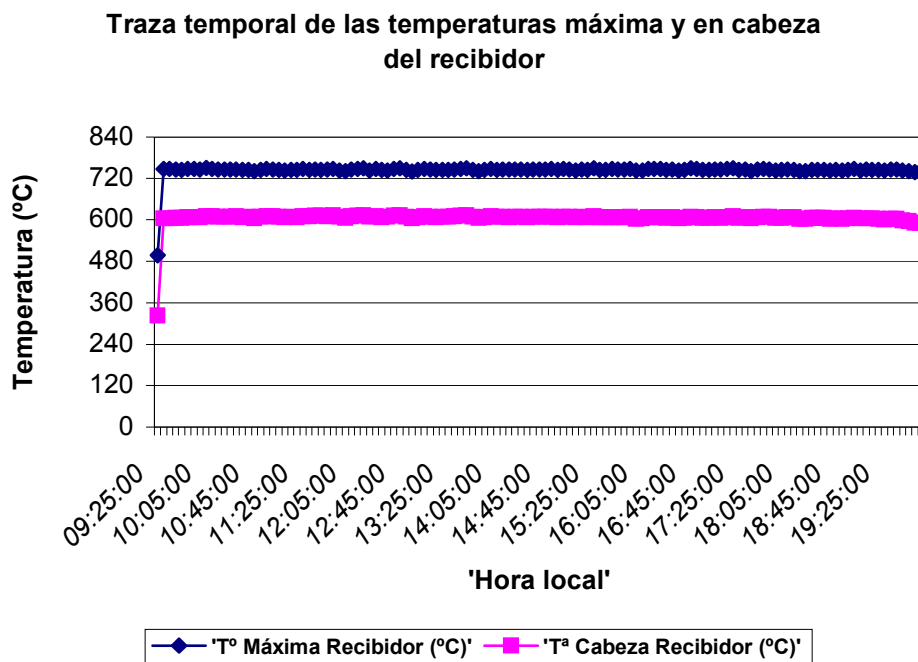


Figura 3: Evolución temporal de las temperaturas en el receptor en el periodo de operación del disco para el día evaluado.



El rendimiento del sistema crece en función del crecimiento de la temperatura en la cabeza del receptor hasta que la temperatura máxima del receptor alcanza los 800 °C a partir de entonces la tendencia general del rendimiento netos es a disminuir por cuanto se pone en funcionamiento el sistema de refrigeración.

En al **Figura 36** se representa la evolución de los rendimientos bruto y neto durante el periodo de funcionamiento del disco en el día de evaluación. Si la temperatura máxima del receptor no alcanza el umbral de activación del sistema de refrigeración, la tendencia general del rendimiento neto será la de aumentar conforme lo hace la temperatura en la cabeza del receptor.

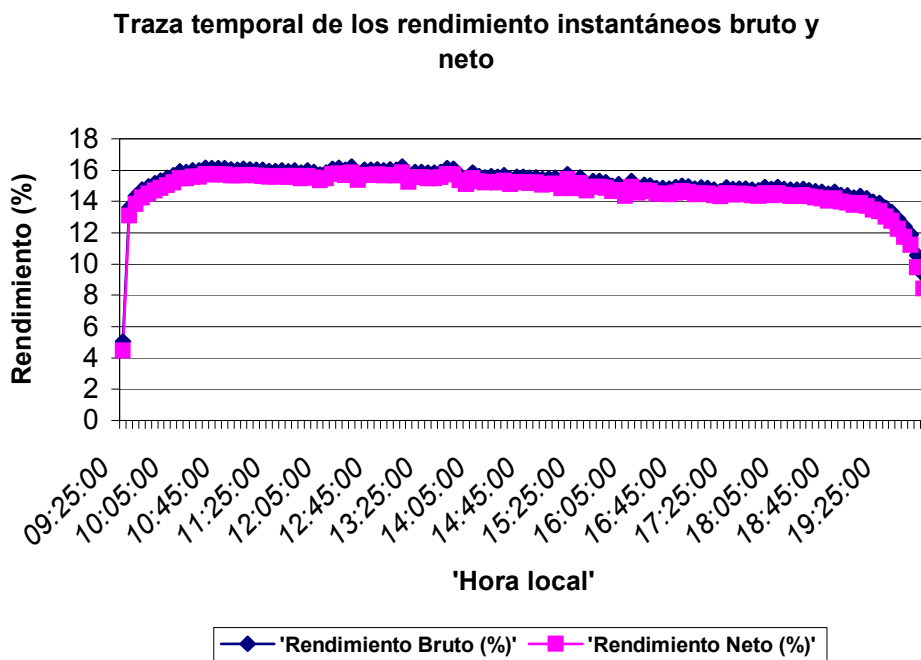


Figura 4: Evolución temporal de los rendimientos en el periodo del operación del disco para el día evaluado

Es frecuente la aparición de valores negativos para el rendimiento neto. En sí, un rendimiento negativo no tiene sentido, sin embargo, estos valores son indicativos de en



qué instantes la potencia producida ha sido inferior al conjunto de pérdidas y autoconsumos del sistema.

Evolución temporal de la potencia producida

En la **Figura 37** se muestra la evolución temporal de las potencias producida y recibida en tiempo de operación

Debe observarse la consecuencia entre ambas potencias. Es tónica general que un aumento de la potencia recibida conduce a un aumento de la potencia producida. Efectivamente, la potencia recibida influye decisivamente en el rendimiento del sistema por cuanto provoca el aumento de la temperatura representativa del ciclo. Sin embargo, la temperatura máxima del receptor está limitada y, sobrepasado este umbral (800 °C), el rendimiento neto decae con lo que la potencia producida puede no seguir la tendencia general apuntada.

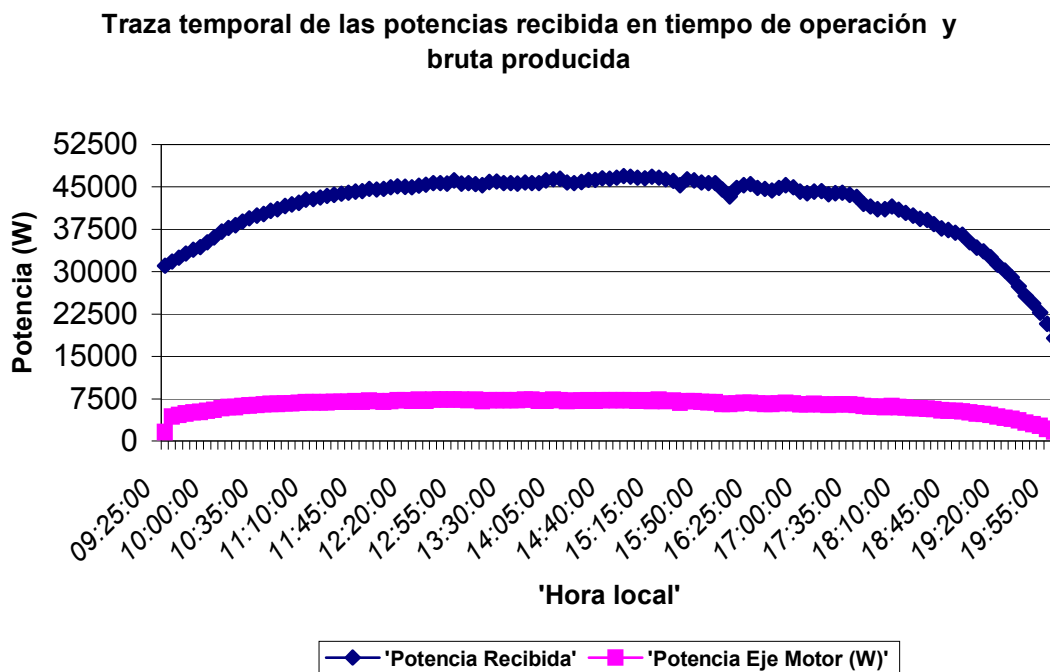


Figura 5: Evolución temporal de las potencias recibida y generada en el periodo de operación para el día evaluado



Comportamiento de la potencia producida con la presión del motor

En la **Figura 38** se muestra el comportamiento, que no evolución por su mayor componente estadística, de la potencia producida con la presión del motor.

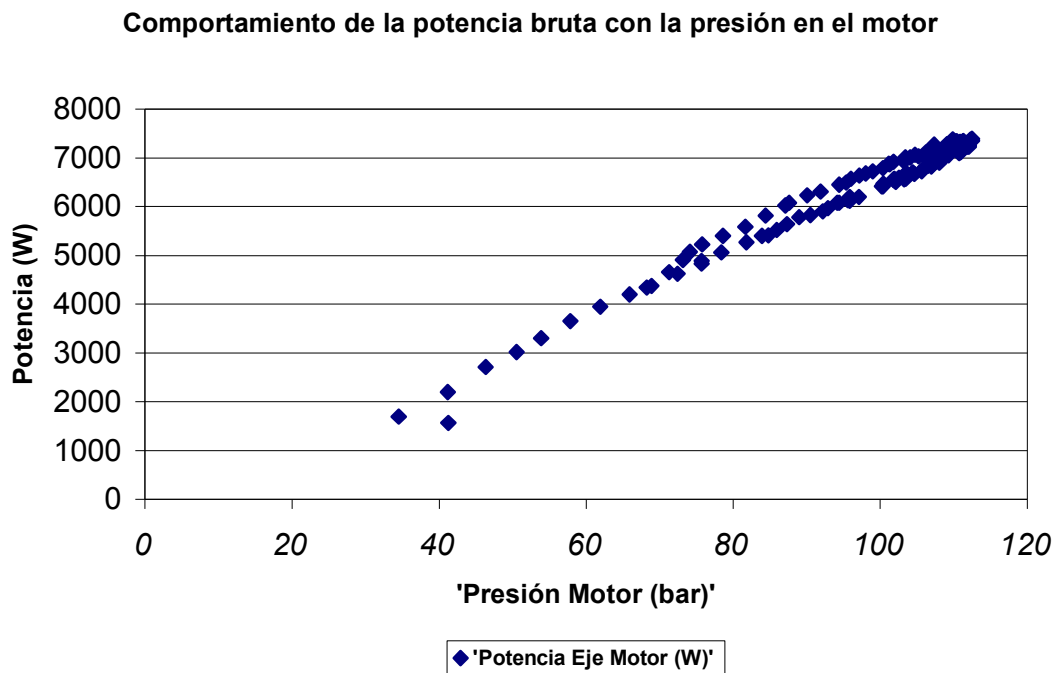


Figura 6: Comportamiento de la potencia producida con la presión en el motor

Debe esperarse un comportamiento con clara tendencia a la linealidad en virtud del modelo teórico de Schmidt, según el cual, la potencia teórica por ciclo del motor Stirling es proporcional a la presión del fluido de trabajo cuando la temperatura de trabajo, en este caso se considera la temperatura en la cabeza del receptor, es constante (véase **Figura 35**).

La presión del fluido de trabajo (hidrógeno) en el motor se regula por medio del tanque contenedor de dicho fluido. En la **Figura 39** se muestra la evolución temporal de las presiones en el motor y en el tanque contenedor del fluido (tanque de hidrógeno).

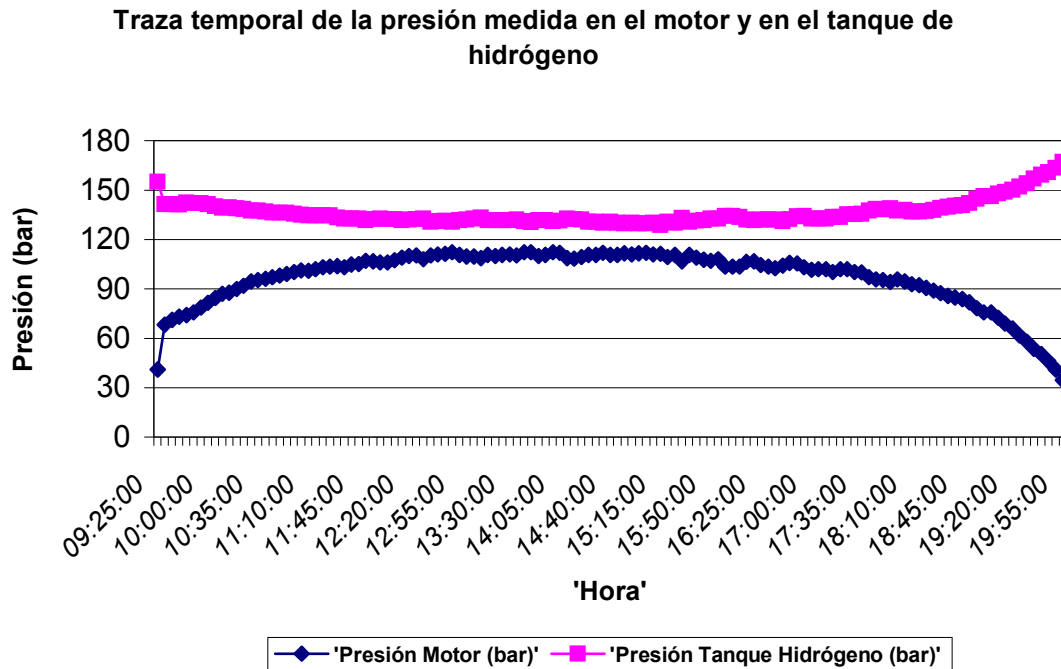


Figura 7: Evolución temporal de las presiones en el motor y en el tanque de hidrógeno en el periodo de operación del disco para el día evaluado

Cabe esperar que ambas curvas tengan tendencias contrapuestas puesto que el mecanismo de regulación obliga a que aumentos de presión en el motor vengan acompañados de disminuciones proporcionales de presión en el tanque contenedor.

Comportamiento de la potencia producida y el rendimiento neto con la irradiancia

Se espera (véase **Figura 40**) que los mayores rendimientos se obtengan para mayores irradiancias. Efectivamente, mayor potencia recibida por el concentrador provoca mayor potencia sobre el receptor, en consecuencia mayor temperatura en la cabeza del mismo y, por tanto, mayor rendimiento. Sin embargo esta tendencia se ve truncada en el preciso instante en que la irradiancia sea tal que provoque un ascenso de



la temperatura del receptor por encima de los 800 °C , límite establecido por la resistencia mecánica de los materiales. Cuando esto ocurre, la puesta en marcha del sistema de refrigeración motiva generalmente la reducción del rendimiento.

Para la potencia cabe esperar una clara tendencia a la linealidad. Efectivamente, mayor potencia sobre el receptor conduce a mayor potencia producida. Una vez más, la tendencia puede verse alterada por la puesta en marcha del sistema de refrigeración.

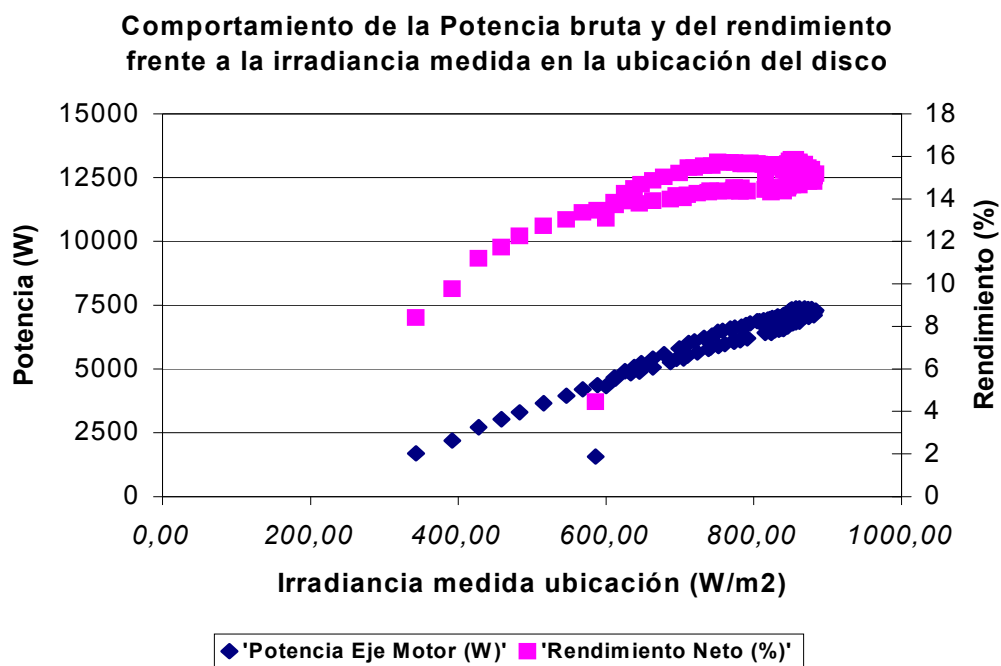


Figura 8: Comportamiento de la potencia producida y el rendimiento neto con la irradiancia recibida por el concentrador en el periodo de operación del sistema para el día evaluado

Nótese que la irradiancia está medida a partir de los 340 W/m², valor umbral de funcionamiento del sistema. Así mismo, son frecuentes las fluctuaciones de rendimiento y potencia en el entorno de la irradiancia máxima. Esta circunstancia puede ser debida a posibles desfases temporales de las medidas de irradiancia realizadas por el pirheliómetro, el cual actúa de manera independiente del conjunto del sistema. También



pueden ser consecuencia de lo ya comentado acerca de la entrada en funcionamiento del sistema de refrigeración si se ha alcanzado la temperatura máxima admisible.

Comportamiento de la potencia producida y el rendimiento con la temperatura en la cabeza del receptor

De forma análoga al caso anterior, el aumento de la temperatura en la cabeza del receptor conduce a mayores potencias producidas y rendimientos. De nuevo hay que contemplar que esta tendencia es general hasta que se alcanza la temperatura máxima permitida en el receptor. La **Figura 41** muestra el comportamiento de la potencia producida y el rendimiento neto con la temperatura en la cabeza del receptor.

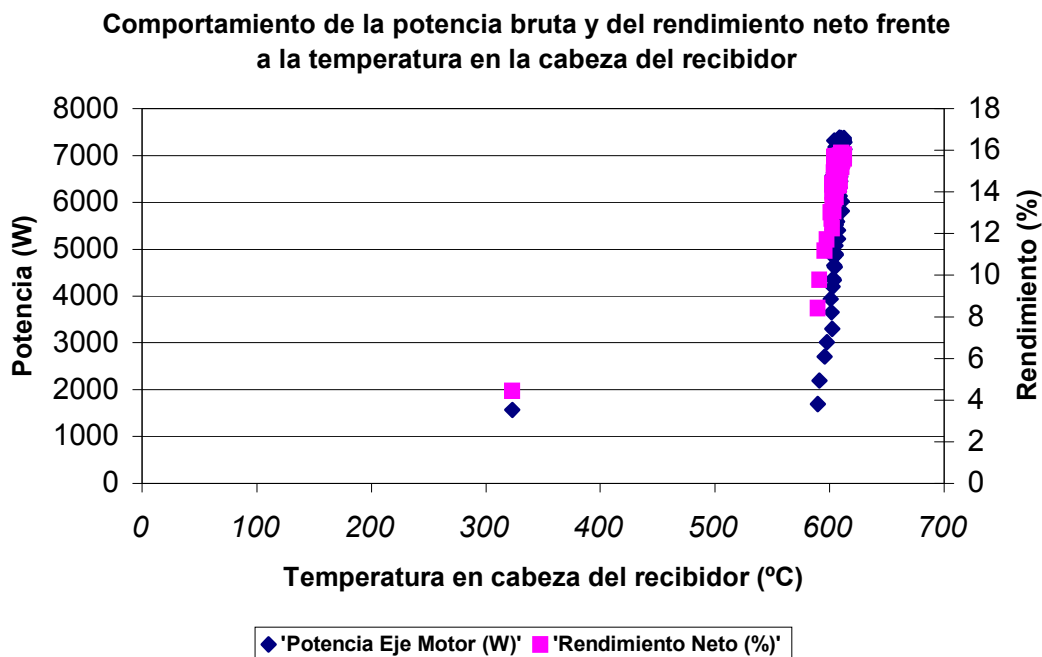


Figura 9: Comportamiento de la potencia producida y el rendimiento neto con la temperatura en la cabeza del receptor durante el periodo de operación del sistema para el día evaluado



De nuevo se comprueba que en el entorno de la máxima temperatura en la cabeza del receptor, se producen fluctuaciones en los valores de la potencia producida y del rendimiento. Esto puede ser debido a que en algún punto del receptor se ha alcanzado la temperatura máxima admisible y, por consiguiente, ha entrado en funcionamiento el ventilador de refrigeración reduciendo con ello el rendimiento y la potencia.

Resultados derivados de los parámetros de operación

A continuación se muestra un resumen de los resultados obtenidos para el día evaluado:

Fecha de evaluación: 13/09/2005

Tiempo con $DNI > 340 \text{ W/m}^2$ (horas): 10,92

Tiempo de operación (horas): 10,67

Energía recibida con $DNI > 340 \text{ W/m}^2$ (kWh): 447,08

Energía recibida en tiempo de operación (kWh): 439,91

Energía producida (kWh): 67,02

Energía consumida (kWh): 1,74



Potencia máxima (kW): 7,38

Potencia media (kW): 6,28

Rendimiento bruto con $DNI > 340 \text{ W/m}^2$ (global diario, %): 14,99

Rendimiento neto con $DNI > 340 \text{ W/m}^2$ (global diario, %): 14,60

Rendimiento bruto en tiempo de operación (global diario, %): 15,23

Rendimiento neto en tiempo de operación (global diario, %): 14,84

Conclusiones

1. El seguimiento de la operación diaria del sistema es relativamente fácil de hacer gracias al sistema de adquisición de datos y al sistema de control.
2. Los resultados que se derivan de la información gráfica mostrada se restringen en muchas ocasiones a tendencias en la evolución de los parámetros. Sería conveniente establecer nuevos mecanismos de medida, en distintas ubicaciones del sistema, que permitieran comprobar la evolución y el comportamiento de estos u otros parámetros para así tener criterios más exhaustivos a la hora de vincular unívocamente los resultados con la información de que se dispone.



3. No obstante lo anterior, las tendencias apreciadas son las esperadas. Es decir, los resultados obtenidos para la operación diaria del sistema se aproximan en buena medida a los que predicen las distintas teorías.
4. Es generalizado que el aumento de la temperatura del receptor mejora el rendimiento del sistema. En este sentido, serían de gran utilidad a la hora de mejorar las prestaciones del sistema, todas aquellas medidas conducentes al aumento de dicha temperatura. En particular se proponen, por un lado, la utilización de concentradores secundarios que aumenten la relación de concentración y ayuden a uniformar el flujo incidente sobre el receptor; por otro lado, el empleo de materiales de mayor resistencia mecánica sometidos a altas temperaturas. Esto último con idea de reducir la entrada en funcionamiento del sistema de refrigeración y el autoconsumo que ello conlleva.

Fuentes consultadas para la elaboración del informe de operación diario

Silva Pérez, M et al. *Routine Operation of the EnviroDish Unit at the Engineering School of the University of Seville*. Sevilla, Mayo 2006.

García Fernández, R., *Modelado de un Motor Tipo Stirling Alimentado con Energía Solar*. Universidad de Málaga. Junio 2003.

Reinalter, W., Keck, T., *Euro/EnviroDish Referente Manual, Versión 1.1*, Almería / Stuttgart. Abril 2004.

Service and Operator's Manual for SOLO 161 Solar Stirling Unit. SOLO Stirling. Marzo 2004



5.2. Informe de operación periódico

STC Disco - Parabólico

INFORME DE OPERACIÓN PERIÓDICO

Periodo de operación evaluado:

Entre el 05/09/2005 y el 22/12/2005

Fecha de emisión: 13/07/2006

**Escuela Superior de Ingenieros - Universidad de Sevilla –
Camino de los Descubrimientos S/N – 41092 – Sevilla**



Introducción

En marzo de 2004 se finalizó la instalación de un disco parabólico con motor Stirling en las proximidades de la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla. Este sistema está integrado en un proyecto ,denominado EnviroDish, por el que se prevé la instalación de varias de estas unidades en distintos países con el fin de recabar información fiable sobre el funcionamiento de estos sistemas y los costes de instalación y O&M que ayuden a mejorar este tipo de tecnología. El CENTER, como socio local del proyecto, en colaboración con la Junta de Andalucía, Endesa Distribución y Solúcar, preparó la infraestructura requerida y en la actualidad es el responsable de la operación y el mantenimiento del sistema con el apoyo de DLR³ y SBP⁴ . Además de los objetivos propios del proyecto EnviroDish, el disco parabólico pretende extender las actividades del CENTER en el campo de los sistemas solares de concentración a esta tecnología, de especial importancia en el escenario actual donde cobran cada vez más relevancia la producción distribuida de energía.

La unidad ubicada en la ESI presenta la particularidad de estar conectada a la red de distribución . La energía es vendida a la compañía distribuidora local acogiéndose al *Régimen Especial* de producción de energía eléctrica.

Breve descripción del sistema

Los principales elementos del Sistema EuroDish de 10 kW de potencia nominal instalado en la ESI – Sevilla son: el concentrador, el sistema de accionamiento, estructura soporte, el motor SOLO 161 Stirling con recibidor tubular, el alternador, el

³ Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt e. V. (German Aerospace Center)

⁴ Schlaich, Bergemann und Partner, GbR.



sistema de refrigeración (air – cooled) y el sistema de control. El concentrador tiene un diámetro de apertura de 8,5 m y está fabricado con fibra de vidrio reforzada y delgadas láminas de vidrio especular. La estructura soporte consta de: una base hexagonal dotada de seis ruedas en los vértices del hexágono; el soporte del concentrador compuesto por tres anillos concéntricos dos de igual diámetro y un tercero, sobre el que se apoya el concentrador, algo menor; el soporte del motor y dos arcos guía para los movimientos de Acimut y elevación dotados con sendos servomotores de accionamiento, cajas de cambio y cadenas de tracción. El sistema de control consta de un PC de control y un conjunto de microcontroladores locales conectadas ambas partes por un bus de campo (interbus). La representación esquemática del sistema disco – parabólico de la ESI se muestra en la **Figura 10**.

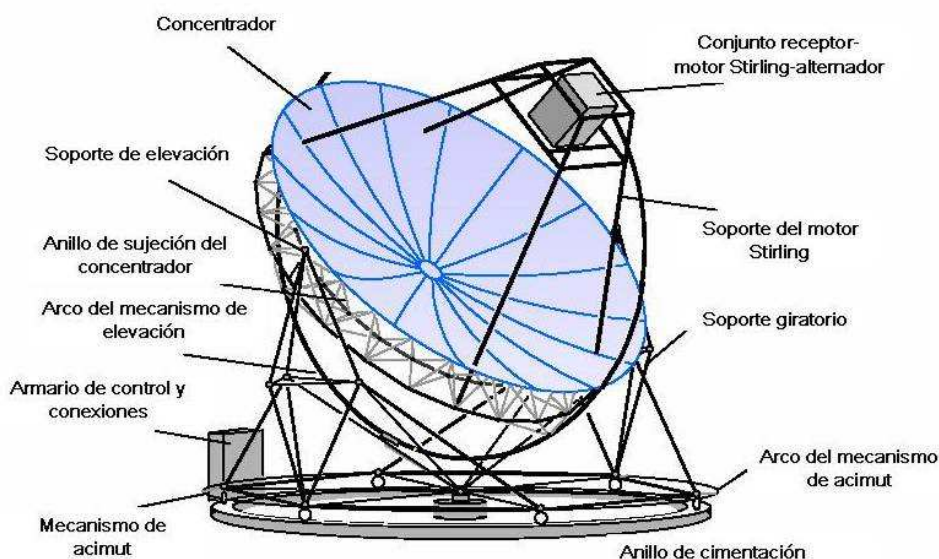


Figura 10: Esquema del sistema EuroDish de la ESI – Sevilla (informe periódico)



Mantenimiento del sistema

Mantenimiento periódico

Las principales labores de mantenimiento periódico del sistema son: recarga del fluido de trabajo del motor (en este caso hidrógeno), limpiezas del concentrador y del sensor solar y revisión de los niveles de aceite y de líquido refrigerante del motor.

Recarga del fluido de trabajo: el fluido de trabajo del motor Stirling del sistema es hidrógeno. El motor Stirling está basado en un ciclo cerrado y, por tanto, no se producen consumos del fluido de trabajo durante su operación. Sin embargo, sí se producen ciertas fugas. Como resultado, la presión en el tanque contenedor de hidrógeno, con capacidad para 5 litros, pierde presión a razón de aproximadamente 20 bar por semana. Esto obliga a realizar recargas periódicas con el fin de mantener su nivel de presión original, en torno a los 200 bar. El origen de las fugas es, todavía hoy, desconocido. Aunque es previsible que existan defectos de sellado en el sistema de conductos del fluido a lo que debe unirse las características propias del hidrógeno, cuyo tamaño molecular es tan reducido que hace difícil su confinamiento a elevadas presiones.

Limpieza del concentrador: los espejos del concentrador deben ser limpiados con frecuencia para mantener la reflectividad en niveles aceptables. Una buena forma de efectuar la limpieza del concentrador es aprovechar la lluvia, colocando el concentrador en posición horizontal con los espejos hacia arriba. Desafortunadamente, la efectividad de este método depende de la frecuencia de las precipitaciones. Una alternativa a la limpieza con agua de lluvia es utilizar agua presurizada. Sin embargo, la calidad del agua en las proximidades del sistema no es adecuada para este propósito y además no se



cuenta con el equipamiento apropiado. En estas circunstancias, se hace necesario realizar la limpieza del concentrador “a mano”, con la ayuda de un cepillo.

Revisión de los niveles de aceite y de líquido refrigerante del motor Stirling: ambos niveles deben mantenerse dentro de sus correspondientes límites. Es apropiado determinar las pérdidas de aceite que se producen desde el cárter del motor hasta los pistones. Ello podría significar que los tubos del recibidor están obstruidos.

Limpieza del sensor solar: existe un sensor solar en la cara frontal del motor que se usa para la regulación del mismo. Este sensor se limpia normalmente con la lluvia pero, a veces, es recomendable limpiarlo por métodos alternativos.

Mantenimiento puntual

Hace referencia a todos aquellos trabajos, ajustes y modificaciones que, de manera excepcional, se practican sobre el sistema bien para resolver desaplicaciones del mismo, bien para mejorar su funcionamiento normal.

Descripción de parámetros y conceptos clave

Los parámetros y conceptos que constituyen la base de este informe se describen a continuación:

- **Tiempo acumulado con $\text{DNI} > 340 \text{ W/m}^2$ (horas):** corresponde al tiempo total en el que la irradiancia directa normal superó el umbral de funcionamiento del sistema (340 W/m^2).



-
- **Tiempo medio con $\text{DNI} > 340 \text{ W/m}^2$ (horas/día):** corresponde al tiempo medio diario en el que la irradiancia directa normal superó el umbral de funcionamiento del sistema.
 - **Tiempo máximo con $\text{DNI} > 340 \text{ W/m}^2$ (horas):** corresponde al tiempo máximo en el que la irradiancia directa normal superó el umbral de funcionamiento del sistema.
 - **Tiempo de operación acumulado (horas):** corresponde al tiempo total en el que el sistema permaneció en funcionamiento ($\text{RPM} > 0$).
 - **Tiempo medio de operación (horas/día):** corresponde al tiempo medio diario en el que el sistema permanece en funcionamiento.
 - **Tiempo máximo de operación (horas):** corresponde al tiempo máximo de funcionamiento del sistema para el periodo de evaluación considerado.
 - **Energía total recibida con $\text{DNI} > 340 \text{ W/m}^2$ (kWh):** corresponde a la energía total recibida cuando la irradiancia directa normal superó el umbral de funcionamiento del sistema.
 - **Energía media recibida con $\text{DNI} > 340 \text{ W/m}^2$ (kWh/día):** corresponde a la energía media diaria recibida cuando la irradiancia directa normal supera el umbral de funcionamiento del sistema.
 - **Energía máxima recibida con $\text{DNI} > 340 \text{ W/m}^2$ (kWh):** corresponde a la máxima energía recibida en el periodo de evaluación considerado cuando la irradiancia directa normal superó el umbral de funcionamiento del sistema.
-



-
- **Energía recibida en tiempo de operación (kWh):** corresponde a la energía total recibida por el sistema en el periodo de evaluación considerado cuando éste se encontró en funcionamiento.
 - **Energía media recibida en tiempo de operación (kWh/día):** corresponde a la energía media diaria recibida por el sistema cuando éste se encuentra en funcionamiento.
 - **Energía máxima recibida en tiempo de operación (kWh):** corresponde a la máxima energía recibida por el sistema en el periodo de evaluación considerado cuando aquel se encuentra en funcionamiento.
 - **Energía total producida (kWh):** corresponde a la energía producida por el sistema en el periodo de evaluación considerado.
 - **Energía media producida (kWh/día):** corresponde a la energía media diaria producida por el sistema en el periodo de evaluación considerado.
 - **Energía máxima producida (kWh):** corresponde a la máxima energía producida en el periodo de evaluación considerado.
 - **Energía total consumida (kWh):** corresponde al total de la energía consumida por el sistema en el periodo de evaluación considerado.
 - **Energía media consumida (kWh/día):** corresponde a la energía media diaria consumida por el sistema en el periodo de evaluación considerado.
 - **Energía máxima consumida (kWh):** corresponde a la máxima energía consumida por el sistema en el periodo de evaluación considerado.



-
- **Potencia bruta media (kW):** corresponde a la potencia media medida en el eje del motor para el periodo de evaluación considerado. Se calcula como: *Energía total producida / tiempo de operación acumulado* .
 - **Potencia bruta máxima (kW):** corresponde a la máxima potencia generada por el sistema en el periodo de evaluación considerado.
 - **Rendimiento bruto medio con DNI > 340 W/m² (%):** corresponde al rendimiento medio del sistema en el periodo de evaluación considerado en base a la energía total recibida con DNI > 340 W/m². Se calcula como: *energía total producida*100 / energía total recibida con DNI > 340 W/m²*
 - **Rendimiento neto medio con DNI > 340 W/m² (%):** corresponde al rendimiento medio del sistema en el periodo de evaluación considerado en base a la energía total recibida con DNI > 340 W/m² teniendo en cuenta las pérdidas y autoconsumos. Se calcula como: *(energía total producida – energía total consumida)*100 / energía total recibida con DNI > 340 W/m²*
 - **Rendimiento bruto máximo con DNI > 340 W/m² (%):** corresponde al máximo rendimiento bruto con DNI > 340 W/m² alcanzado por el sistema en el periodo de evaluación considerado.
 - **Rendimiento neto máximo con DNI > 340 W/m² (%):** corresponde al máximo rendimiento neto con DNI > 340 W/m² alcanzado por el sistema en el periodo de evaluación considerado.
 - **Rendimiento bruto medio en tiempo de operación (%):** corresponde al rendimiento medio del sistema en el periodo de evaluación considerado en
-



base a la energía total recibida en tiempo de operación. Se calcula como:

$$\text{energía total producida} * 100 / \text{energía total recibida en tiempo de operación}$$

- **Rendimiento neto medio en tiempo de operación (%):** corresponde al rendimiento medio del sistema en el periodo de evaluación considerado en base a la energía total recibida en tiempo de operación teniendo en cuenta las pérdidas y autoconsumos. Se calcula como: $(\text{energía total producida} - \text{energía total consumida}) * 100 / \text{energía total recibida en tiempo de operación}$
- **Rendimiento bruto máximo en tiempo de operación (%):** corresponde al máximo rendimiento bruto en tiempo de operación alcanzado por el sistema en el periodo de evaluación considerado.
- **Rendimiento neto máximo en tiempo de operación (%):** corresponde al máximo rendimiento neto en tiempo de operación alcanzado por el sistema en el periodo de evaluación considerado.

Resultados gráficos

Horas de operación

En la **Figura 11** se representan las horas de operación del sistema en cada día del periodo considerado. Así mismo, se representan las horas que potencialmente podría estar en operación, considerando como tales aquellas en las que la irradiancia medida



con pirheliómetro superó el umbral de funcionamiento del sistema estimado en 340 W/m^2 .

Traza temporal del nº de horas con $\text{DNI} > 340 \text{ W/m}^2$ y de operación.

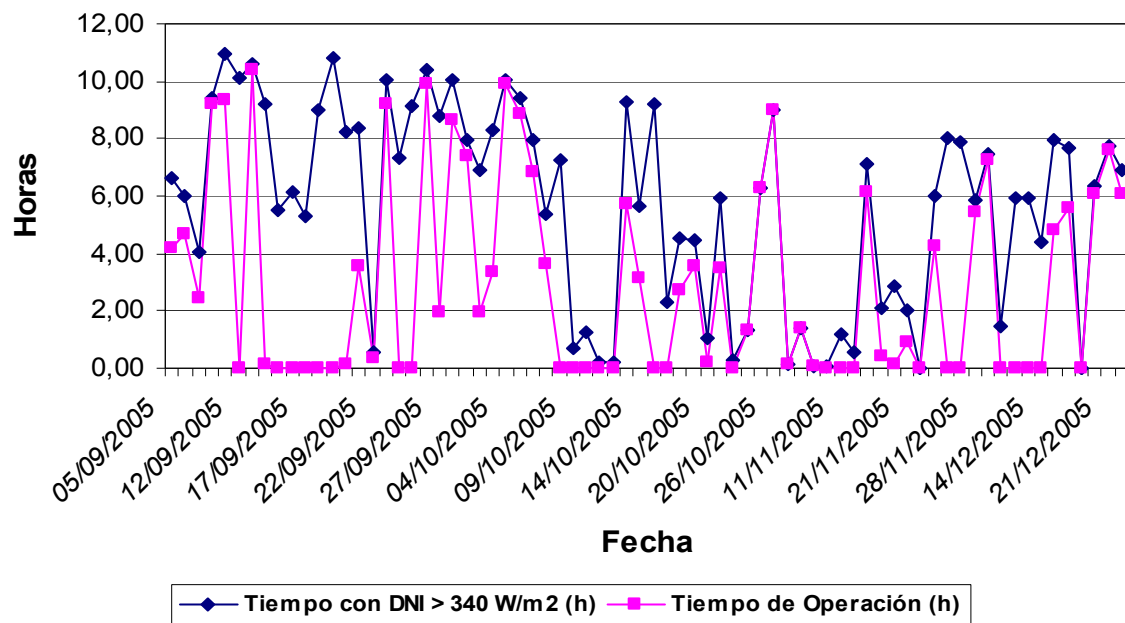


Figura 11: Evolución temporal del número de horas de operación y del número de horas de operación potencial en el periodo de evaluación considerado

Energías producida y recibida

En la **Figura 12** se muestra la evolución temporal de las energías recibida con $\text{DNI} > 340 \text{ W/m}^2$ (energía potencialmente aprovechable por el sistema), energía recibida en tiempo de operación y producida en el periodo considerado.

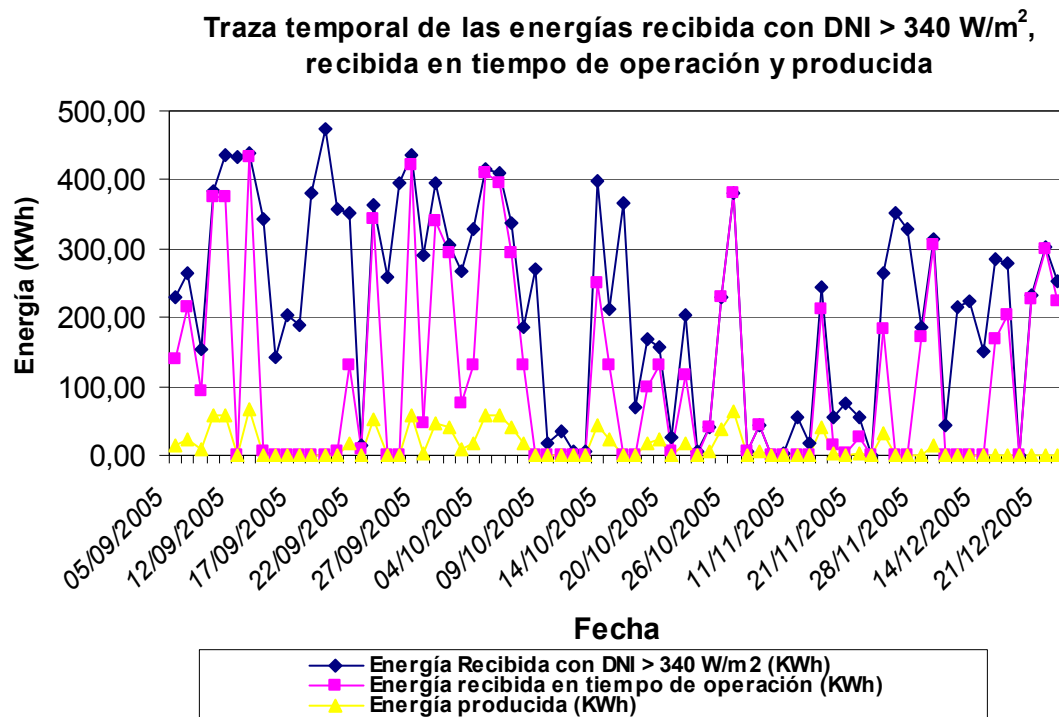


Figura 12: Evolución temporal de las energías recibida y producida en el periodo de evaluación considerado

Potencias producidas media y máxima

La **Figura 13** muestra las potencias media y máxima registrada en cada día del periodo considerado.

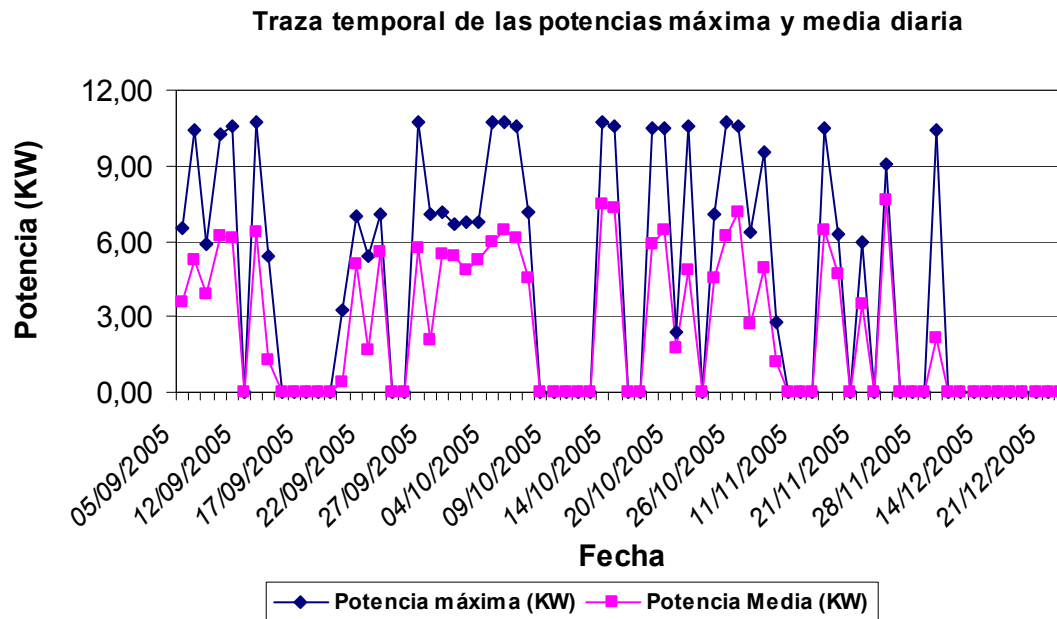


Figura 13: Evolución temporal de las potencias producidas media y máxima registradas en cada día del periodo de evaluación considerado

Rendimientos

En la **Figura 14** se representan los rendimientos bruto y neto registrados en cada día del periodo evaluado. Estos rendimientos están calculados de forma global, es decir, tomando como base de cálculo la energía total recibida en cada día en cuestión.

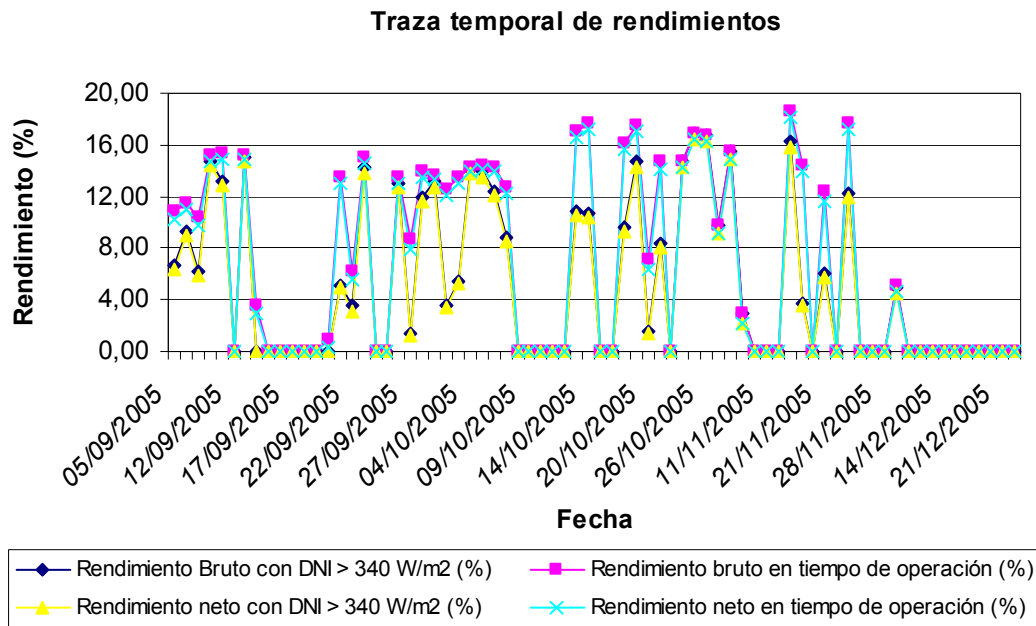


Figura 14: Evolución temporal de los rendimientos registrados para cada día del periodo de evaluación considerado

Comportamiento de los rendimientos con la energía recibida

En la **Figura 15** se representa el comportamiento, que no la evolución por su mayor componente estadística, de los rendimientos con la energía recibida durante el tiempo de operación del sistema en cada día del periodo de evaluación considerado.

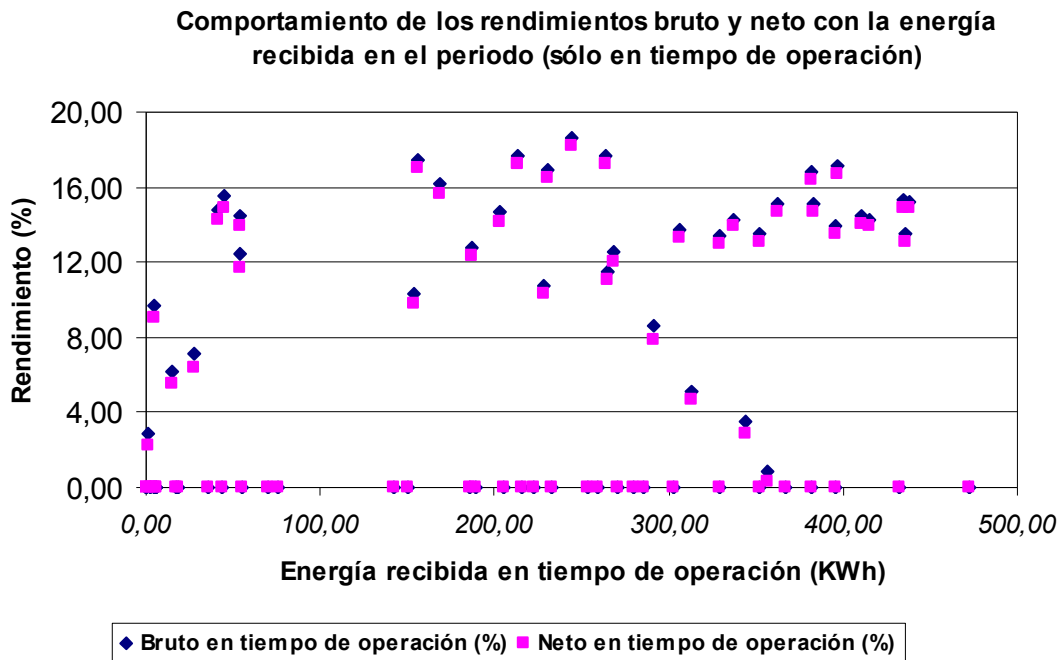


Figura 15: Comportamiento de los rendimientos con la energía recibida por el sistema en tiempo de operación para cada día del periodo de evaluación considerado

La tendencia general es que los días de pleno funcionamiento del sistema, los rendimientos se mantienen en un rango de valores casi constante independientemente de la energía recibida. Esto puede ser debido a que el principal condicionante del valor del rendimiento es la temperatura en la cabeza del receptor la cual no tiene dependencia directa con la energía recibida, sí en cambio con la potencia a la que se recibe la energía.

Comportamiento de la energía producida con la energía recibida

La **Figura 16** muestra el comportamiento de la energía producida por el sistema en cada día del periodo considerado con la energía recibida en tiempo de operación en cada día correspondiente.

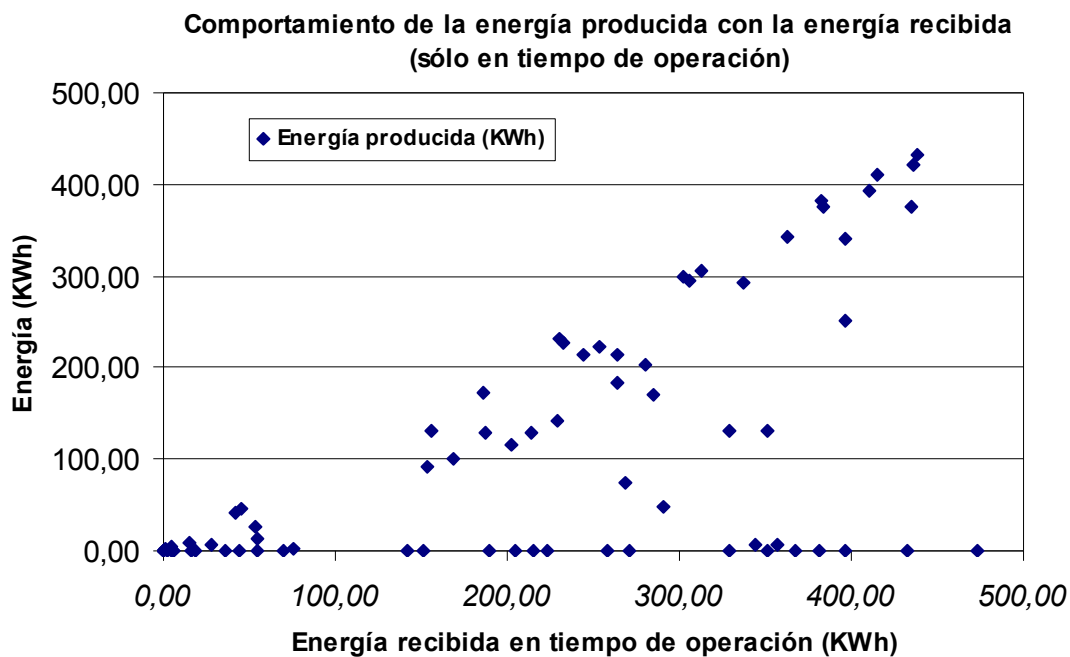


Figura 16: Comportamiento de la energía producida con la energía recibida en tiempo de operación para cada día del periodo de evaluación considerado

La tendencia general es a la linealidad cuando el sistema ha funcionado en el día considerado.

Resumen mensual

A continuación se presenta un resumen gráfico mensual de la evolución de los distintos parámetros del sistema en el periodo considerado:

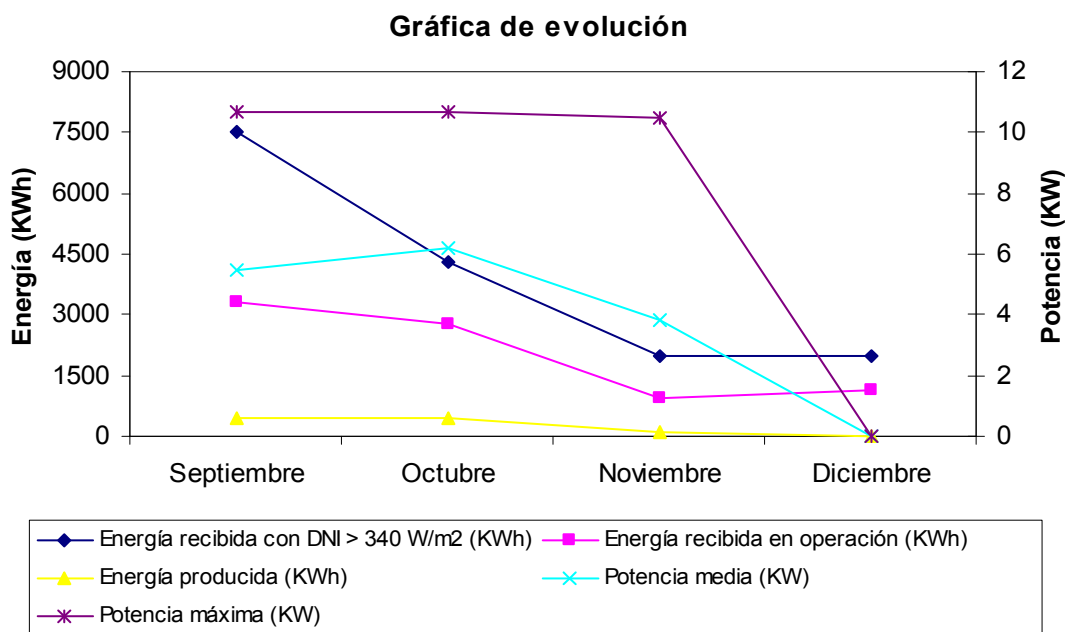
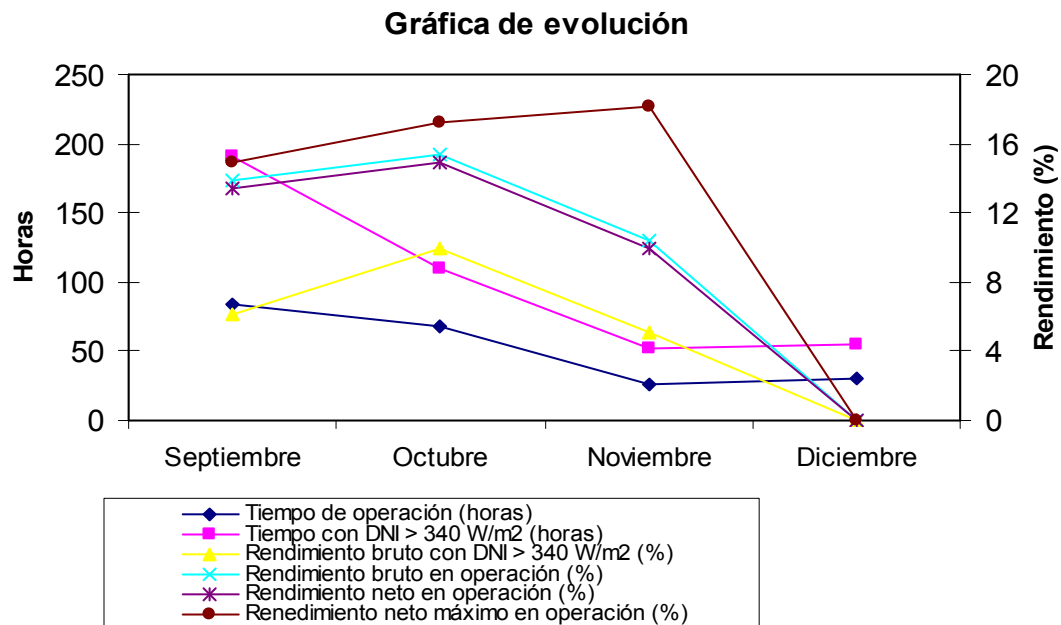


Figura 17: Evolución gráfica mensual de los parámetros fundamentales del sistema para el periodo de evaluación considerado. Tiempo de operación y rendimientos (arriba); energías y potencia (abajo)



Resultados obtenidos en el periodo de operación

A continuación se muestra un resumen de los resultados obtenidos para el periodo evaluado:

Periodo de cálculo:

Periodo de evaluación: entre el 05/09/2005 y el 22/12/2005

Total días evaluados: 72

Parámetros:

Irradiancia:

Tiempo acumulado con $DNI > 340 \text{ W/m}^2$ (horas): 408,69

Tiempo medio con $DNI > 340 \text{ W/m}^2$ (horas/día): 5,68

Tiempo máximo con $DNI > 340 \text{ W/m}^2$ (horas): 10,93 Fecha: 09/09/2005

Operación:

Tiempo de operación acumulado (horas): 207,96

Tiempo medio de operación (horas/día): 2,89

Tiempo máximo de operación: 10,37 Fecha: 13/09/2005

Energía:

Energía total recibida con $DNI > 340 \text{ W/m}^2$ (kWh): 15770,31

Energía media recibida con $DNI > 340$ (kWh/día): 219,03

Máxima recibida con $DNI > 340 \text{ W/m}^2$ (kWh): 472,71 Fecha: 19/09/2005

Energía total recibida en tiempo de operación (kWh): 8136,43



Energía media recibida en tiempo de operación (kWh/día): **113,01**

Máxima recibida en tiempo de operación (kWh): **431,95** *Fecha:* **13/09/2005**

Energía total producida (kWh): **981,63**

Energía media producida (kWh/día): **13,63**

Máxima producida (kWh): **65,93** *Fecha:* **13/09/2005**

Energía total consumida (kWh): **35,77**

Energía media consumida (kWh/día): **0,50**

Máxima consumida (kWh): **1,71** *Fecha:* **13/09/2005**

Potencia:

Potencia bruta media (kW): **4,72**

Potencia bruta máxima (kW): **10,69** *Fecha:* **13/09/2005**

Rendimiento:

Bruto medio con DNI > 340 W/m² (%): **6,22**

Bruto máximo con DNI > 340 W/m² (%): **16,93** *Fecha:* **25/10/2005**

Neto medio con DNI > 340 W/m² (%): **6,00**

Neto máximo con DNI > 340 W/m² (%): **16,47** *Fecha:* **25/10/2005**

Bruto medio en tiempo de operación (%): **12,06**

Bruto máximo en tiempo de operación (%): **18,67** *Fecha:* **16/11/2005**

Neto medio en tiempo de operación (%): **11,63**

Neto máximo en tiempo de operación (%): **18,17** *Fecha:* **16/11/2005**



Conclusiones

1. El seguimiento de la operación periódica del sistema es relativamente fácil de hacer gracias al sistema de adquisición de datos y al sistema de control.
2. Los resultados que se derivan de la información gráfica mostrada se restringen en muchas ocasiones a tendencias en la evolución de los parámetros. Sería conveniente establecer nuevos mecanismos de medida, en distintas ubicaciones del sistema, que permitieran comprobar la evolución y el comportamiento de estos u otros parámetros para así tener criterios más exhaustivos a la hora de vincular unívocamente los resultados con la información de que se dispone.

Fuentes consultadas para la elaboración del informe de operación periódico

Silva Pérez, M et al. *Routine Operation of the EnviroDish Unit at the Engineering School of the University of Seville*. Sevilla, Mayo 2006.

Reinalter, W., Keck, T., *Euro/EnviroDish Referente Manual, Versión 1.1*, Almería / Stuttgart. Abril 2004.

Service and Operator's Manual for SOLO 161 Solar Stirling Unit. SOLO Stirling. Marzo 2004