

IX CONGRESO IBÉRICO DE ENERGÍA SOLAR
III JORNADAS TÉCNICAS SOBRE BIOMASA

ENERGIAS RENOVABLES Y
DESARROLLO SOSTENIBLE

Córdoba (España)
27 al 29 de Marzo de 2000

Ponencias

Editado por
A. López E. López
F. Casares R. López

Grupo de Investigación de Energía y Recursos Renovables
Universidad de Córdoba

Organizado por:
ASOCIACION ESPAÑOLA DE ENERGIA SOLAR

Para las
SECCIONES ESPAÑOLA Y PORTUGUESA DE LA
INTERNATIONAL SOLAR ENERGY SOCIETY

Primera Edición: Agosto de 2002

ISBN: 84-7801-636-8.

Editores: A. López, F. Casares, E. López, R. López.
Grupo de Energía y Recursos Renovables (GIERR).
Universidad de Córdoba.

Reproducción: D. J. PRODUCCIONES
C/ Casino 8, 2º, D.
28005 MADRID
www.djproducciones.com

✓ DISEÑO DE UNA CENTRAL ELÉCTRICA TERMOSOLAR DE 10 MW BASADA EN LA TECNOLOGÍA DE RECEPTOR VOLUMÉTRICO DE AIRE	453
<i>(Romero, Manuel; Blanco, Manuel; Osuna, Rafael; Fernández, Valerio)</i>	
✓ EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE UN RECEPTOR SOLAR VOLUMÉTRICO PRESURIZADO	463
<i>(Buck, R.; Téllez, F.M.; Lüpfer, E.; Roth, S.; Valverde, A.; Ballestrín, J.)</i>	
✓ PROYECTO HELLAS: DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE UN HELIÓSTATO AVANZADO DE PEQUEÑA SUPERFICIE.....	473
<i>(Monterreal, Rafael; Romero, Manuel; Valverde, Antonio; Grimaldi, Pedro; Grimaldi, Ignacio; Benavente, José)</i>	
✓ EL HELIÓSTATO AUTÓNOMO.....	483
<i>(García, G.; Egea, A.; Gázquez, J.A.)</i>	
✓ REFRACTOCONCENTRADORES SOLARES (C.S.R.).....	493
<i>(Pérez Calero, J.I.)</i>	

II.2.4.-Conversión Fototérmica: Destilación / Termoquímica

(Sesión de Trabajo 4-C)

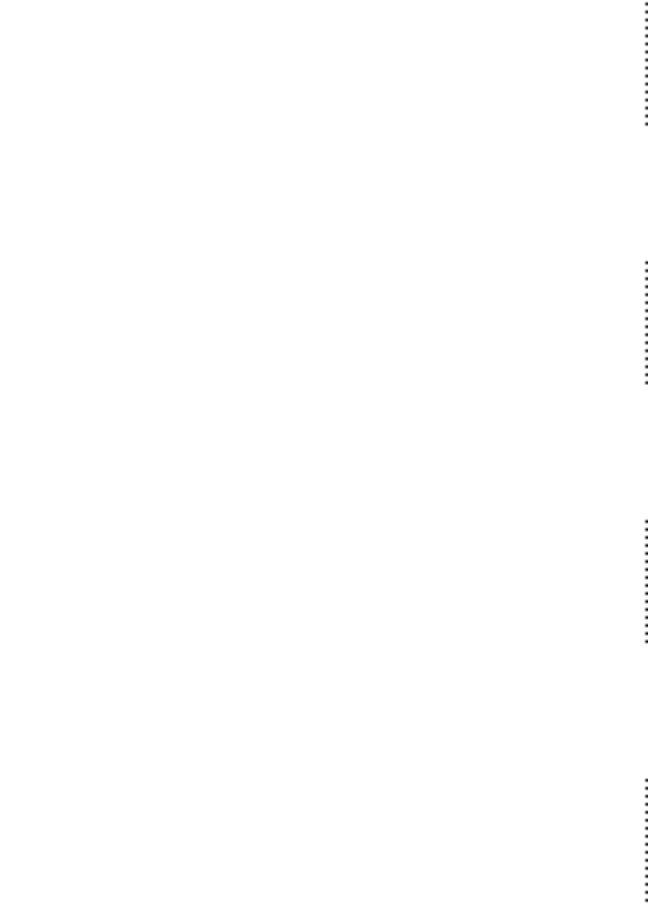
✓ PRODUCTIVIDAD DE LOS DESTILADORES SOLARES	505
<i>(Gutiérrez Colomer, R.P.; García Marí, E.)</i>	
✓ ACTUALIZACIÓN DEL DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA TERMOQUÍMICA SOLAR	515
<i>(Martín Fernández, Antonio José; Gómez Camacho, Carlos)</i>	
✓ TRATAMIENTO DE DISOLUCIONES DE ALTA CONCENTRACIÓN DE RESIDUOS FENÓLICOS MEDIANTE LA REACCIÓN DE FOTOFENTON. CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO MEDIANTE FTIR-ATR	525
<i>(Araña, J.; Tello, E.; González-Díaz, O.M.; Herrera-Melián, J.A.; Doña-Rodríguez, J.M.; Pérez-Peña, J.)</i>	

II.3.- ENERGIA SOLAR Y EDIFICACIÓN

II.3.1.- Ciudades Sostenibles

(Sesión Plenaria V)

✓ AS ENERGIAS RENOVABLES E A CIDADE SUSTENTABLE.....	537
<i>(Oliveira Fernandes, Eduardo de)</i>	
✓ BARCELONA: ABRIENDO CAMINO A LA ENERGÍA SOLAR.....	538
<i>(Puig i Boix, Josep)</i>	
✓ ENERGÍA SOLAR EN LA EDIFICACIÓN: SU CONTRIBUCIÓN A LA MEJORA DEL MEDIO AMBIENTE	543
<i>(Heras Celemín, Rosario)</i>	
✓ IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN LA PLANIFICACIÓN URBANÍSTICA DEL DISTRITO BARCELONES DE POBLE NOU	553
<i>(Ivancic, Aleksandar)</i>	



El Heliostato autónomo

G. García¹, A. Egea¹, J.A. Gázquez²

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)

¹ Plataforma Solar de Almería (PSA), Aptdo. 22, E-04200, Tabernas (Almería, España)

² Universidad de Almería (UAL), Dpto. Arquitectura de Computadoras y Electrónica.

ABSTRACT

The first Autonomous Heliostat has been developed by CIEMAT at PSA facilities in Almería. This heliostat is an innovative approach to reducing the civil engineering work costs in heliostat fields of central tower plants. Channels, cables and other electric elements have been eliminated in the new heliostat. Thus, one 70-m², classical "T" glass/metal heliostat has been adapted to include all the new stand-alone concept components. A PV system is able to drive two sun-tracking DC motors between 5 and 24Vdc, 0 and 15A. The heliostat communicates with the control room 400-m away by using a radio-modem working at 9600 baud. An anemometer, a wind switcher, light and ambient temperature sensors have been installed on the heliostat for self-protection decision-making. A PV panel integrated into the heliostat reflecting surface, eliminates cabling and other elements required for a conventional power supply. Communication lines between master control and local control have been replaced by radio-modem. Testing has validated the technical feasibility of the prototype and quantified the real consumption and efficiencies of new elements. The extra costs produced by the autonomous concepts are compared with the cost of civil work in conventional heliostat field.

Palabras y frases clave: Heliostats Field, Autonomous Heliostat, Stand-alone Heliostat, Solar Energy, Local Control, Radio-modem.

Clasificación UNESCO: 2106-01, 3304-12, 3307-03, 3311-01

1 Introducción

Como novedad en el campo de la Energía Solar concentrada, técnicos del CIEMAT han desarrollado y puesto en funcionamiento, en las instalaciones de la Plataforma Solar de Almería, PSA, el primer Heliostato Autónomo.

Este concepto introduce una novedad importante y puede ser aplicado con éxito en los campos de heliostatos de las futuras Plantas Solares de Torre Central en un intento, entre otros, de abaratar los costes de obra civil mediante la eliminación del entramado de canalizaciones y cableados de fuerza, señal y comunicaciones.

Los conceptos de autonomía introducidos en el nuevo heliostato son los siguientes:

- **Autonomía física:** La eliminación total de las canalizaciones y cableados eléctricos lo desligan de inflexibles condicionantes físicos.
- **Autonomía en el suministro eléctrico:** Una placa FV lo alimenta y lo independiza de fuentes de energía convencionales.
- **Autonomía de cálculo:** La determinación de la posición solar y el posicionamiento de ejes para realizar el seguimiento solar con un control del rayo reflejado a cualquier punto espacial lo desliga de una continua asistencia del control central.
- **Autonomía en su seguridad:** El conocimiento de las condiciones externas y la decisión propia de actuaciones para su autoprotección ante malfunciones o condiciones meteorológicas adversas le permite su operación en aplicaciones totalmente aisladas.
- **Autonomía operativa:** Pudiendo realizar ciclos operativos preestablecidos o indicados a distancia desde cualquier lugar.

Las ventajas que introducen estos conceptos en los campos de heliostatos son:

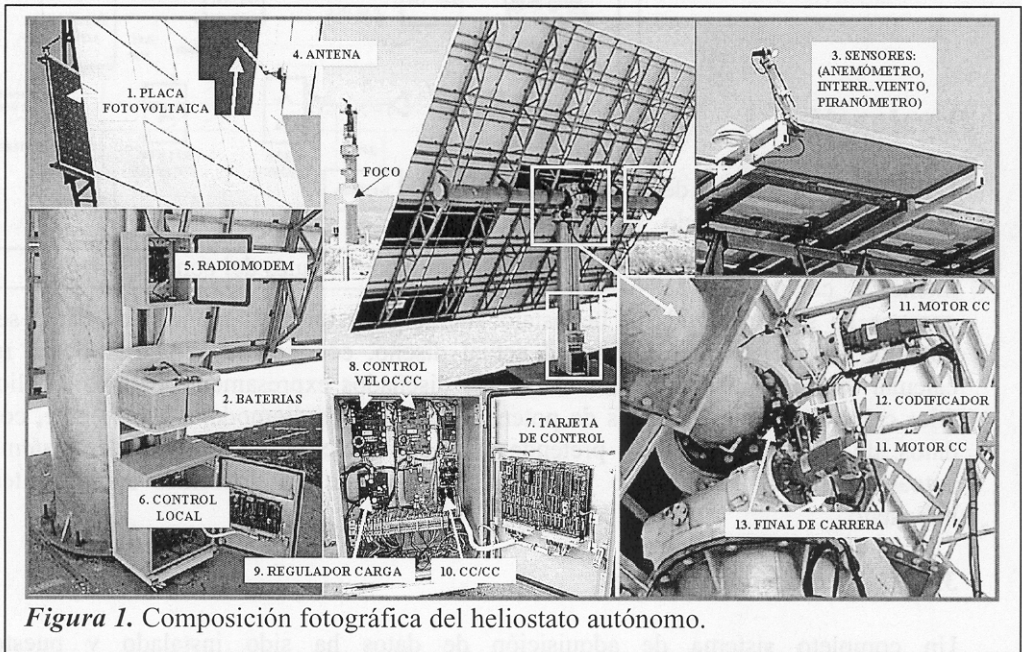
- Muy bajo coste en infraestructuras (cableado, canalización y elementos distribución eléctrica eliminados).
- Mayor inmunidad frentes a rayos y descargas eléctricas.
- Mayor seguridad en su suministro eléctrico ya que cada heliostato tiene una fuente de tensión segura e independiente
- Mayor seguridad para la manipulación humana en tareas de mantenimiento.
- La ampliación del campo solar es posible e inmediata sin costes adicionales y sin interferencias operativas.
- El campo continuará operativo ante cortes en el suministro eléctrico convencional, ante una avería en el Control Central, CCH, o ante una pérdida de comunicaciones.
- Mayores posibilidades de implantar controles globales de planta al minimizarse las necesidades del CCH.

2 Descripción del heliostato

Se trata de un heliostato vidrio/metal clásico de óptica fija y 70m² de superficie reflectante con dos ejes de movimiento (giro azimutal y giro de elevación) manejado por un control local especialmente diseñado para poder pilotar dos motores de corriente continua de 180W cada uno para la realización del seguimiento solar bien para un seguimiento normal al sol (para una mayor captación de energía fotovoltaica), bien para el control espacial del rayo reflejado y del foco (durante la operación normal en Plantas de Torre Central). La alimentación eléctrica del heliostato se realiza a 24Vcc mediante un panel fotovoltaico y una batería.

En la figura 1 se puede observar que la placa fotovoltaica (1) queda solidaria a la superficie reflectante y dispuesta en su mismo plano, en un lateral y las baterías (2) quedan alojadas en el pedestal protegidas por la propia sombra del heliostato y por un pequeño tejadillo. Con esta disposición la producción eléctrica de la placa se ve beneficiada por el seguimiento realizado durante la operación normal del heliostato en una Planta de Torre Central. Esta disposición garantiza el mantenimiento y limpieza de la

misma ligando estas operaciones a las propias de la superficie reflectante. Esta disposición garantiza igualmente la captación de energía fotovoltaica durante los períodos inoperativos del heliostato (durante períodos nocturnos, nublados o en caso de averías) ya que la posición de descanso del heliostato se establece en la vertical hacia el sur y la posición de defensa (en caso de alto viento) en la posición horizontal hacia arriba.



Puede apreciarse el pequeño anemómetro e interruptor de viento (3) instalado sobre la placa fotovoltaica para la lectura de la incidencia del viento sobre el plano reflectante con el objeto de la autoprotección y supervivencia ante valores extremos. Un piranómetro ha sido igualmente montado con objeto de obtener datos reales de radiación solar sobre el plano reflectante durante la campaña de ensayos.

Otro detalle que llama la atención es la pequeña antena (4) que ha sido instalada en el centro de la superficie reflectante y que permite, junto con el radiomodem (5) instalado dentro de una caja sobre el pedestal del heliostato, el enlace sin hilos con la sala de control situada en un edificio junto a la torre a unos 400m de distancia. A media altura de la citada torre puede apreciarse el foco del heliostato autónomo en plena operación.

El control local (6) del heliostato autónomo se instala en una caja metálica de intemperie situada en la parte inferior del pedestal en donde se alojan las diferentes tarjetas electrónicas (7, 8, 9 y 10) que hacen posible la controlabilidad del heliostato bajo los conceptos de autonomía indicados con anterioridad.

En el cabezal del heliostato se sitúan el resto de los elementos tradicionales tales como, motores (11), codificadores (12) y finales de carrera (13).

DESCRIPCIÓN VARIABLES		
TA001	Tensión en Panel fotovoltaico	Voltios
IA002	Intensidad generada en el panel fotovoltaico	Amperios
TA003	Tensión de carga de baterías	Voltios
IA004	Intensidad hacia baterías y consumo	Amperios
TA005	Tensión de entrada a servo eje AZIMUT	Voltios
IA006	Intensidad hacia servo eje AZIMUT	Amperios
TA007	Tensión entrada convertidor CC/CC (alimentación electr.)	Voltios
IA008	Intensidad consumida por electrónica	Amperios
TA009	Tensión de entrada a servo eje ELEVACIÓN	Voltios
IA010	Intensidad hacia servo eje ELEVACIÓN	Amperios
TA011	Tensión en motor eje AZIMUT	Voltios
IA012	Intensidad consumida por el m otro AZIMUT	Amperios
TA013	Tensión en motor eje ELEVACIÓN	Voltios
IA014	Intensidad consumida por el m otro ELEVACIÓN	Amperios
PA015	Radiación Global sobre el espejo del heliostato	W/m ²
AA016	Velocidad de viento normal al espejo del heliostato	Km/h
IA017	Interruptor de Viento	SI/NO
18-20	RESERVAS	

3.2. Consumos reales

Para la obtención de datos procedentes del heliostato, este ha sido programado para realizar por sí solo:

- Ciclos de inactividad (días 3 al 12) para determinar los consumos mínimos y parásitos
- Ciclos repetitivos de operación orto-ocaso (días 13 al 27) para determinar los consumos reales en operación rutinaria
- Ciclos con desconexión automática nocturna de consumos innecesarios, **letargo** (días 3 al 20) para determinar el ahorro de consumo originado

Durante estos ciclos se han obtenido los consumos reales ponderados y los datos han sido validados para ciclos suficientemente largos, 15 días de operación rutinaria, mediante la igualdad entre la energía aportada hacia la batería/consumo y la suma de los consumos de los diferentes elementos del heliostato (electrónica y servos) y de las pérdidas por autodescarga y rendimiento en las baterías.

CONSUMOS EN OPERACIÓN ORTO-OCASO. DÍAS 13-27/09/1999									
Wh/día	Batería/ consumo	Electrón.	Servo Azimut	Motor Azimut	Servo elevación	Motor elevación	consumo	Pérdidas Baterías	consumo Total
Acumul	3551.90	1496.10	749.87	488.08	1063.38	777.258	3309.36	264.56	3573.92
Media	236.79	99.74	49.99	32.53	70.892	51.81	220.62	17.64	238.26
%		41.862	20.982	14.749	29.754	23.487	92.597	7.403	100

Para las 2 baterías de plomo empleadas, Hoppecke-Energy de 12V y 55AH cada una, se ha considerado una autodescarga mensual del 10% y un rendimiento en ciclos de carga/descarga del 94%.

Las energías medidas y acumuladas desde el día 13 al 27 de septiembre, correspondientes a operación rutinaria orto-ocaso, cumplen la igualdad entre la energía suministrada, 3551.9 Wh, y la total consumida incluyendo las pérdidas en las baterías, 3573.92. La coincidencia de estos dos valores aporta una confianza en las mediciones con un 0.62% de error.

CONSUMOS EN PERIODOS INOPERATIVOS. DÍAS 04-06 y 11/09/1999								
Wh/día	Electrón.	Servo Azimut	Motor Azimut	Servo elevación	Motor elevación	Consumo elemento	Pérdidas baterías	Consumo Total
Acumul	364.122	50.252	0.000	48.862	0.000	463.235	45.394	508.629
Media	91.030	12.563	0.000	12.215	0.000	115.809	11.349	127.157
%	71.589	9.880	0.000	9.607	0.000	91.075	8.925	100

Con el objeto de reducir consumos en periodos inoperativos o nocturnos, se ha dotado al heliostato de un procedimiento automático de ahorro que desconecta ciertos elementos vitales en la electrónica. Este procedimiento, al que hemos denominado **letargo**, supone un ahorro de consumo especialmente importante cuando la aplicación requiere poca capacidad de batería o cuando se desea incrementar los días de autonomía en periodos inoperativos con escasa o nula insolación. El consumo de la electrónica, fijo e independiente del tipo de operatividad del heliostato, ha sido medido en 91.4 Wh/día con letargo nocturno y 110.2 Wh/día sin letargo lo que supone un 20.5% de ahorro.

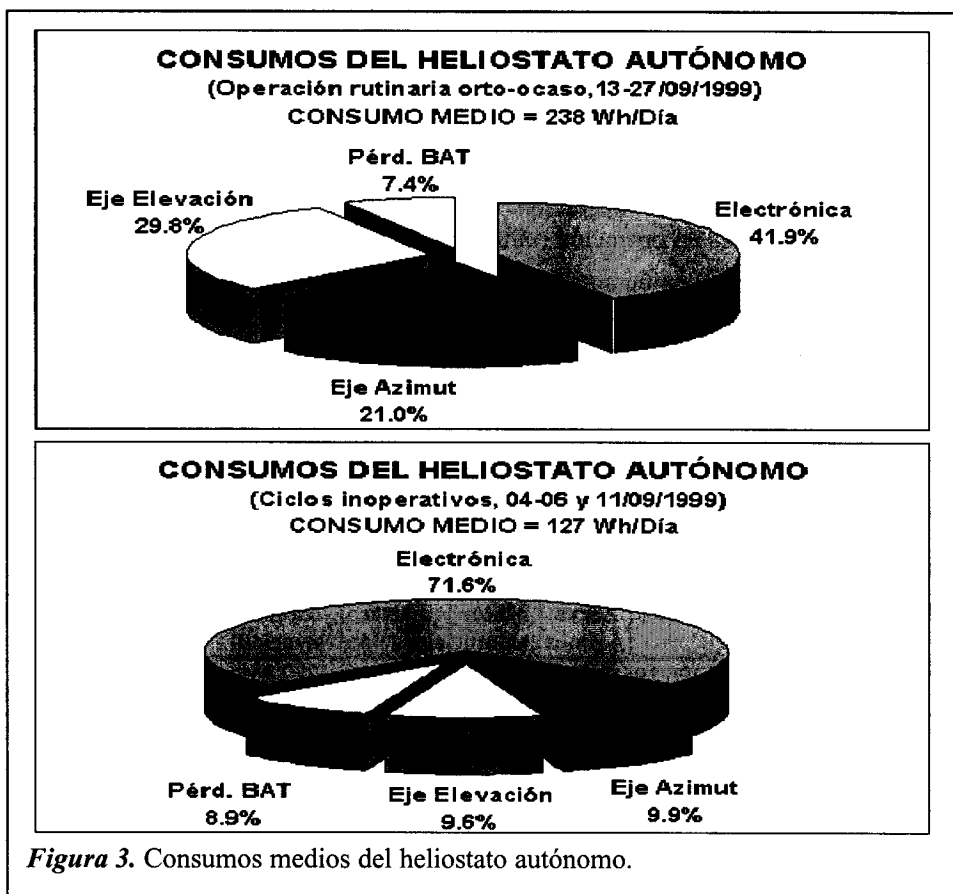


Figura 3. Consumos medios del heliostato autónomo.

3.2 Rendimientos obtenidos

Ciertos componentes del heliostato autónomo han sido desarrollados expresamente con el objetivo de conseguir altos rendimientos en su funcionamiento. Estos elementos han sido los dos servos para manejar los motores de corriente continua y el cargador de baterías. Es por ello que durante esta campaña de ensayos han sido evaluados para determinar sus rendimientos reales. Los consumos medidos en operaciones de abatimiento con velocidad nominal de los motores (velocidad rápida) han sido:

	Servo_AZ	Motor_AZ	μ _AZ %	Servo_EL	Motor_EL	μ _EL %
13/09/99	14.528	12.854	0.885	20.713	19.005	0.918
14/09/99	15.646	13.606	0.870	21.768	19.590	0.900
15/09/99	14.842	12.900	0.869	21.622	19.326	0.894
16/09/99	14.007	12.318	0.879	20.375	18.940	0.930
	59.023	51.678	0.876	84.478	76.861	0.910

Lo que confirma un mejor comportamiento en el eje de elevación con un rendimiento medio del **91%**. Al ser los dos servos idénticos, la razón del menor rendimiento en el eje de azimut se debe a razones constructivas y de ajuste.

Ambos servos, en períodos inoperativos (motores parados), muestran un consumo parásito de algo más de 12 Wh/día debido a la alimentación de su electrónica. Estos consumos podrían ser eliminados desconectando totalmente los servos en el procedimiento de letargo.

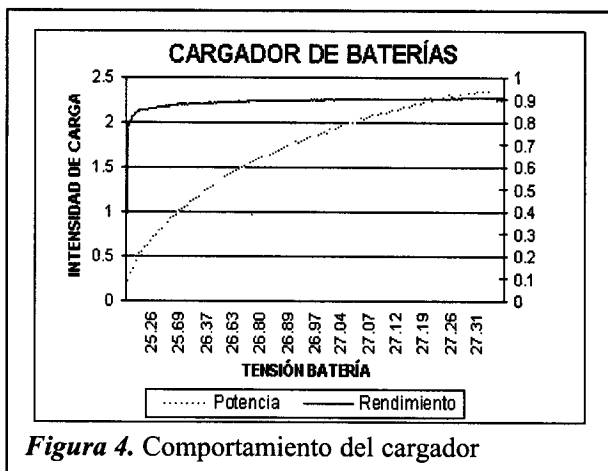


Figura 4. Comportamiento del cargador

El umbral en donde comienza el aporte positivo a la batería se ha medido en los **25W/m²** para una tensión de batería de 25.2 Voltios.

3.3 Sistemas de seguridad

El día 19 de septiembre el heliostato autónomo, de acuerdo con sus rutinas de autoprotección, decidió su abatimiento de forma automática al detectar vientos intensos, sobre su superficie especular, superiores a los 45Km/h. Los dos sensores dispuestos a tal

efecto, un anemómetro y un interruptor especial de bajo coste, fueros sensibles a tal evento registrando rachas de viento de 56 Km/h.

El interruptor de viento ha sido un elemento expresamente diseñado para este heliostato con una gran sencillez y robustez en su concepción. Su bajo coste lo hacen utilizable en aplicaciones aisladas o de campos de heliostatos en Plantas de Torre Central. Está constituido por una pletina flexible de acero y de un pequeño interruptor magnético.

3.4 Incremento de captación solar

Otro dato de interés, que ha sido medido en esta campaña de ensayos, ha sido la radiación global sobre la superficie especular del heliostato con objeto de determinar la radiación real interceptada por la placa fotovoltaica en operación rutinaria orto-ocaso. Ya que el heliostato no realiza un seguimiento normal al sol es importante saber que incremento de energía se consigue aprovechando los movimientos diarios de los dos ejes del heliostato. Para ello se ha instalado, junto a la placa fotovoltaica, un piranómetro sobre el plano especular del heliostato y han sido registrados los niveles de radiación captados durante los días 13 al 27 de septiembre. Estos datos han sido comparados con los obtenidos para ese mismo período en el plano horizontal. La radiación global acumulada, incidente sobre el plano del heliostato en operación orto-ocaso, ha sido de 110.116 kW/m²/día frente a los 78.695 kW/m²/día captados en el plano horizontal.

13-27/09/99	S. Horizontal		Seguimiento orto-ocaso		
	Energía kW/m ² /día	Horas pico de sol	Energía kW/m ² /día	Horas pico de sol	Consumo
ACUMUL	78695.280		110115.590		3573.858
MEDIA	5246.352	5.251	7341.039	7.348	238.257

En días claros se observa un incremento del 150% para un heliostato central en el campo.

DÍAS 13-27/09/1999	SEGUIM.ORTO-OCASO		POSICIÓN FIJA	
	Día claro	Media	37° SUR	S. Horizontal
Incremento de Captación	1.5	1.399	1.2	1

El valor de 1.2 para 37°N ha sido obtenido de tablas para superficies inclinadas.

3.5 Diseño fotovoltaico optimizado

Una vez obtenidos los consumos reales del heliostato se puede realizar un dimensionado optimizado del sistema fotovoltaico. Para ello se establece un margen en el cálculo de la potencia de panel necesaria definido por las potencias calculadas para dos regímenes de funcionamiento. El primero considerando la energía real captada en el plano horizontal y el segundo, la captada sobre el espejo en operación de seguimiento orto-ocaso.

Una vez calculados los vatios pico necesarios de panel fotovoltaico procedemos a calcular la capacidad necesaria de baterías en un margen establecido por dos supuestos.

El primero: operación orto-ocaso con 5 días de autonomía sin ningún aporte solar y el segundo idem para sólo 2 días.

Los datos obtenidos han sido:

	Margen de diseño		diseño actual	
Pot. Panel = Consumo medio día / Horas Pico Sol medio	45.370	32.424	110	Wp
Tensión de trabajo	24			V
Capac. Bat = Consumo med.día * Días autonomía/ tensión	49.637	19.855	55	AH
DIAS DE AUTONOMÍA PARA OPERACIÓN RUTINARIA ORTO-OCASO (o número de movimientos de subida-bajada en ambos ejes)				
Sin ningún aporte solar (base de diseño)	5	2	5.540	
Días nublados operativos ($R_{\text{difusa media}} = 100\text{W/m}^2$)	5.762	2.213	8.160	
DIAS DE AUTONOMÍA PARA PERIODOS INOPERATIVOS				
Sin ningún aporte solar	9.4	3.7	10.379	
Días nublados ($R_{\text{difusa media}} = 100\text{W/m}^2$)	12.5	4.6	26.043	

100W/m2	PFV 110wp	PFV 45Wp	PFV 32Wp
Intensidad	0.25	0.103	0.075
Tensión	25.5	25.5	25.5
Potencia	6.375	2.627	1.913
E.Bat(12h)	76.5	31.518	22.95

Como se observa en esta tabla, los días de autonomía se incrementan de forma sensible si se tiene en cuenta la producción de energía eléctrica gracias a la radiación difusa existente en días nublados. Así, con el panel de 110Wp instalado

actualmente, se consigue cargar, en el plano horizontal, 76.5 Wh/día un día nublado con una radiación media de sólo 100W/m^2 . Para paneles del mismo número de células y diferentes potencias existe una relación proporcional.

3.6 Radiomodem

El radiomodem es un elemento que ha sido desarrollado expresamente para esta aplicación permitiendo una comunicación semiduplex, con velocidades de transmisión de 9600 ó 4800 bits/segundo y canalización de radio en banda estrecha. La frecuencia de funcionamiento está situada en la banda de 400 a 434 Mhz o en la banda 868 a 870 Mhz, normas nacionales: UN-29, UN-30 y UN-39 del Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias. Este elemento no ha sido objeto de evaluación en esta campaña correspondiendo este trabajo al período de pruebas que serán realizadas al final del año 2000 con un campo de unos 20 heliostatos autónomos. Únicamente podemos decir que el funcionamiento del radiomodem, durante esta campaña de ensayos, ha sido totalmente satisfactorio comunicando al heliostato con la sala de control situada a unos 400m de distancia.

4 Costes

Los costes del heliostato ligados al concepto de autonomía son únicamente los relativos a la placa fotovoltaica, baterías, radiomodem e interruptor de viento. Para que el concepto "Heliostato Autónomo" pueda implantarse en las futuras plantas solares es necesario que estos costes compitan en ventaja con los costes que serían suprimidos tales como:

- Costes de obra civil (canalizaciones, zanjas, arquetas, conducciones...).
- Costes de equipamiento eléctrico (cableados de fuerza, cableados de comunicaciones y amplificadores, protecciones eléctricas, elementos de conmutación, armarios de distribución, registros eléctricos, cajas de interconexión...).
- Costes de seguridad (protecciones contra rayos y descargas eléctricas, equipos de alimentación segura (UPS), codificadores absolutos, supervisión constante...).
- Costes informáticos (ordenadores más potentes en el control central del campo).

Los extra costes reales del heliostato autónomo pueden valorarse de la siguiente manera:

	Precio unitario	Cantidad	Total (70m²)
Placa fotovoltaica	750pts/Wp	0.5Wp/m ² espejo	26.250
Batería y cargador(24V)	450pts/AH	25AH	11.250
Radiomodem y antena	55.000pts	1	55.000
Interruptor de viento	2.500	1	2.500
			95.000pts

Los costes convencionales no han sido valorados con exactitud pero podría estimarse que únicamente los costes de obra civil originados en un campo de unos 1000 heliostatos podrían superar los 130 millones de pesetas frente a los 95 millones que serían necesarios con este nuevo concepto.

5 Referencias

1. García G., Egea A., Gázquez J.A. and Romero M. (2000), "The stand-alone heliostat first operation results", Renewable Energy for the New Millenium Conference Sydney, March 8-10, 2000.
2. García, G.; Egea, A.; Gázquez, J.A.(1999). "Stand-Alone Heliostat". IEA SolarPACES Task III Working Group Meeting. Israel, July 1999.
3. Monterreal, R; García, G; Romero, M; Barrera, G. "Heliostat Development and Testing. Local Control System". Solar Engineering VOL 1, pp 251-259. Washington, April, 97
4. García, G.; Egea, A.; Gázquez, J.A. (1996)"Desarrollo de un nuevo control para seguimiento solar". Energía Solar e qualidade de vida - VIII Congreso Ibérico de Energía Solar, pp 469-474. Oporto, mayo,96
5. García, G. (1995). "Technical development of a new stand-alone heliostat field control". SolarPACES Technical Report TRIII-4/95, June 1995.