

VIII Congresso Ibérico de Energia

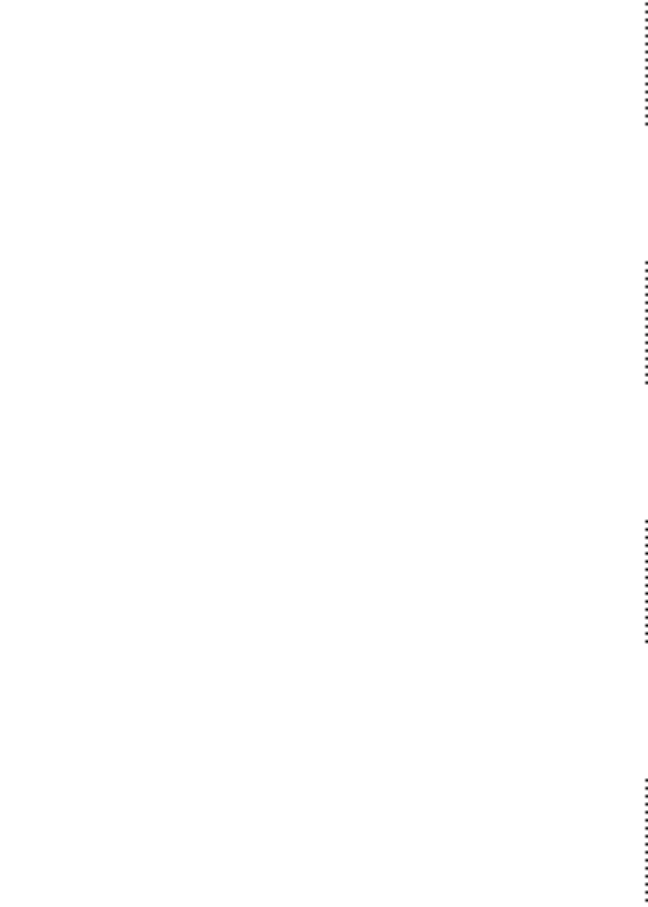
# SOLAR

**ENERGIA SOLAR  
É  
QUALIDADE DE VIDA**

Editado por:  
E. DE OLIVEIRA FERNANDES  
EDUARDO MALDONADO  
MANUELA GUEDES DE ALMEIDA  
Porto, Maio 1997



INTERNATIONAL SOLAR ENERGY SOCIETY  
SPES RN - Sociedade Portuguesa de Energia Solar Região Norte

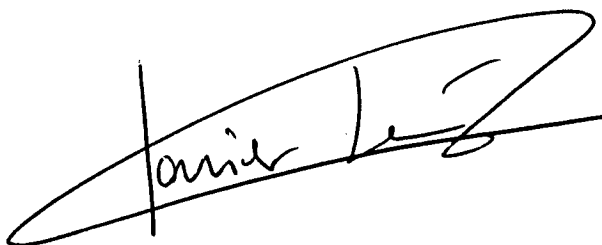


VIII CONGRESSO IBÉRICO DE ENERGIA SOLAR

# ENERGIA SOLAR E QUALIDADE DE VIDA

Porto, Maio 1997

Editado por:  
E. DE OLIVEIRA FERNANDES  
EDUARDO MALDONADO  
MANUELA GUEDES DE ALMEIDA



ORGANIZADO POR:  
SOCIEDADE PORTUGUESA DE ENERGIA SOLAR - REGIÃO NORTE

PARA AS

SECÇÕES PORTUGUESA E ESPANHOLA DA



INTERNATIONAL SOLAR ENERGY SOCIETY

Política para um Melhor Ambiente Construído: A Experiencia da Aplicação de Medidas Voluntaristas na EXPO'98.....	389
<i>Eduardo de Oliveira Fernandes; Francisco de Almeida; Paulo Cardoso</i>	
A Influência da Inércia Térmica nas Cargas Térmicas de Arrefecimento em Edifícios.....	395
<i>L. Bragança</i>	

## Capítulo 5 TECNOLOGIAS SOLARES ACTIVAS

Modelo Informático para Integración de Piscina Solar en Instalación Convencional.....	403
<i>J.V. Martín Zorraquino; J.M. Casado; R. García</i>	
Unidades de Almacenamiento de Energía por Calor Latente. Modelo Numérico Y Validación Experimental.....	409
<i>M. Costa; A. Oliva; C.D. Pérez-Segarra</i>	
Modelización de Acumuladores de Calor con el Intercambiador del Tipo Doble Envoltante.....	415
<i>A. Ivancic; M. Costa</i>	
Modelo Matemático para Secadores Solares Indirectos.....	421
<i>J. Salom; O. Ortega; J.J. Felipe</i>	
Colector Solar Plano Experimental con Aislamiento Transparente de Capilares de Vidrio.....	427
<i>H. Schweiger; A. Oliva; J. Cadafalch</i>	
Potencial da Energia Solar em Edifício de Habitação Social. Estudo de um Caso em Vila do Conde.....	433
<i>E. de Oliveira Fernandes; J. Abel Andrade; L. Paulo Garcês</i>	
Máquina de Absorción de Doble Efecto con Aporte Solar (BrLi-H <sub>2</sub> O). Aplicación de la Energía Solar a la Climatización.....	439
<i>P.J. Martínez; I. Ramos; J.M. Pinazo; J. Cañada; V. Soto; J.C. Moreno</i>	
Conceitos Energético/Ambientais no Projecto do Pavilhão Atlântico de Lisboa.....	445
<i>E. de Oliveira Fernandes; Francisco de Almeida; Paulo Cardoso</i>	
Modelização da Produção Anual de um Sistema de Dessalinização Solar Multiefeito.....	451
<i>A. Joyce; D. Loureiro</i>	
Utilização de Barreiras Anti-Convectivas em Colectores do Tipo CPC.....	457
<i>M.J. Carvalho; G. Cerqueira; M. Collares Pereira; J. Correia de Oliveira; P. Bahr; A. Haeberle</i>	
Programa de Cálculo del Periodo de Amortización de un Sistema de Seguimiento Solar (PASSS).....	463
<i>A.J. Hernández; J. Jorge</i>	
Desarrollo de un Nuevo Control para Seguimiento Solar.....	469
<i>G. García; A. Egea; J.A. Gázquez</i>	
Experiencias Recogidas en los Ensayos del Receptor Avanzado de Sales en Central Solar de Torre.....	475
<i>Javier León; Rafael Monterreal; Marcelino Sánchez; Germán Barrera</i>	
Desenho e Teste de um Reconcentrador para o Forno Solar da Plataforma Solar de Almeria.....	481
<i>M. Collares-Pereira; J. Farinha Mendes; D. Martinez; J. Rodriguez; D. Alarcón Padilla</i>	

# DESARROLLO DE UN NUEVO CONTROL PARA SEGUIMIENTO SOLAR

G. García\*, A. Egea\*, J.A. Gázquez\*\*

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)

\* Plataforma Solar de Almería (PSA)

Apto. 22, E-04200, Tabernas (Almería, España)

\*\* Universidad de Almería (UAL)

Dpto. Arquitectura de Computadoras y Electrónica.

**RESUMEN.** El CIEMAT, en sus instalaciones de la Plataforma Solar de Almería (PSA), viene desarrollando un nuevo control local que está siendo ensayado en el heliostato GM100. El nuevo control local incorpora nuevas ideas y conceptos hasta ahora novedosos en este campo que han sido fruto de la experiencia acumulada durante más de 15 años en la operación y mantenimiento de los diferentes prototipos de heliostato existentes en la PSA. Así mismo, gracias a un acuerdo específico firmado con la Universidad de Almería, el CIEMAT pretende el desarrollo de un radiomodem avanzado para su empleo en las comunicaciones de un campo de heliostatos.

## 1. Introducción.

Desde principios de los años 80, el CIEMAT viene instalando y ensayando diferentes prototipos de heliostato en las instalaciones de la Plataforma Solar de Almería. Los conceptos iniciales establecían lo que se denomina control central como un potente ordenador, situado en la sala de control, desde el cual se realizaban todos los cálculos necesarios para posicionar todos los heliostatos. El control local, situado a pie de heliostato, era pues un dispositivo electrónico que carecía de inteligencia al depender del control central. Posteriormente con los prototipos de MBB y ASINEL se incorporaron ciertas funciones, hasta ahora atribuidas al control central, a los controles intermedios y al control local.

Desde el año 1995, el CIEMAT realiza un nuevo esfuerzo cuyo fruto se materializa en un heliostato de óptica fija y estructura clásica de 100 m<sup>2</sup>, GM100 (Glass Metal 100m<sup>2</sup>). En este heliostato se ensayan diferentes conceptos de control y se depuran rutinas de cálculo. El CIEMAT, al no depender de asistencias externas, ha podido diseñar una placa electrónica y un software abierto a las nuevas ideas recogidas de la experiencia del personal de la PSA

El CIEMAT tiene previsto el desarrollo de un segundo prototipo, el cual vendrá a depurar el primer diseño del control local incorporado en el GM100 desarrollando y ensayando igualmente el concepto de heliostato autónomo. Este concepto, novedoso hasta ahora, supone el empleo de la radio y la energía fotovoltaica con objeto de eliminar las canalizaciones y cableados de un campo de heliostatos minimizando así los costes de obra civil. Para ello, y con objeto del empleo de la radio para las comunicaciones, el CIEMAT ha firmado un acuerdo específico con la Universidad de Almería para el desarrollo y construcción de radiomodems avanzados y desarrollo de protocolos de comunicación.

## **2. Necesidad de un nuevo control.**

Después de más de 15 años en la operación y mantenimiento de los diferentes modelos de heliostatos existentes en la PSA, el personal de Operación, Mantenimiento e Ingeniería proponen mejorar conceptos y eliminar carencias.

El propósito del personal de operación es incorporar nuevas estrategias con objeto de posibilitar un mejor y más dinámico control del receptor solar. La experiencia ha demostrado que es necesario una movilidad de focos dentro del receptor con objeto de conseguir perfiles específicos u homogéneos de radiación. Esto, con los actuales controles de heliostatos, es arduo, lento y difícil. El objetivo marcado es pues la descarga de tareas de cálculo y gestión al control central con objeto que éste adquiera nuevos compromisos de control del receptor solar.

Ya que los heliostatos en la PSA han nacido de prototipos, el mantenimiento es costoso debido al empleo de componentes especiales con dificultades de suministro. El propósito del personal de mantenimiento es, por lo tanto, minimizar sus costes. Este objetivo nos lleva a incorporar en el control local un potente autodiagnóstico de averías y a realizar un nuevo diseño de componentes que facilite la reparación in-situ y garantice el suministro.

El personal de ingeniería propone un hardware moderno y flexible y un software abierto a nuevas posibilidades. En el diseño se han de prever nuevas situaciones y posibilidades configurables en cuanto a soporte y velocidad de las comunicaciones, drivers de potencia, motores, codificadores, etc.... Igualmente, con objeto de modernizar los heliostatos existentes en la PSA, se requiere compatibilidad de conexión con objeto de reemplazar los antiguos controles locales. Se introduce un concepto importante que es el coste y la optimización del consumo. El control local deberá ser un equipo diseñado con componentes baratos y de gran difusión. Este concepto "comercial" hasta ahora no se había contemplado con la suficiente profundidad.

## **3. Diseño y construcción del primer prototipo.**

En la PSA, durante el año 1995, fueron realizados y ensayados diferentes prototipos electrónicos experimentales con participación de los Departamentos de la PSA (Operación, Mantenimiento e Ingeniería) en su concepción y aporte de ideas. Dicho trabajo dio fruto en el año 1996 en el diseño de un primer prototipo y una fabricación limitada (cinco placas). Durante este año se procedió al montaje y depuración del software. El heliostato GM100 fue puesto en funcionamiento con el nuevo control local en el mes de septiembre empleando para ello una comunicación por radio de baja velocidad (1200 baudios).

### **3.1. Características técnicas del primer prototipo.**

La placa diseñada incorpora circuitería electrónica actual y de gran difusión. Cada componente ha sido cuidadosamente seleccionado teniendo en cuenta, además de su funcionalidad, su introducción y aceptación en el mercado. Cada componente empleado tiene al menos tres fabricantes distintos, lo que garantiza un mejor precio y un suministro en el futuro. Este primer prototipo ofrece lo siguiente:

- Cálculo depurado del vector solar y posición de ejes.
- Reloj en tiempo real.
- Lectura de variables externas.
- Empleo de codificadores incrementales y/o absolutos hasta 65535 bits de resolución.
- Compatibilidad de conexión con el antiguo control local del campo CESA1
- Potente autodiagnosís para una rápida localización de averías.
- Estrategias de operación memorizadas.
- Empleo de radio, cable o fibra óptica como soporte de las comunicaciones.
- Menor tamaño y consumo optimizado.
- Menor coste y mejor suministro futuro.
- Abierto a otras aplicaciones.

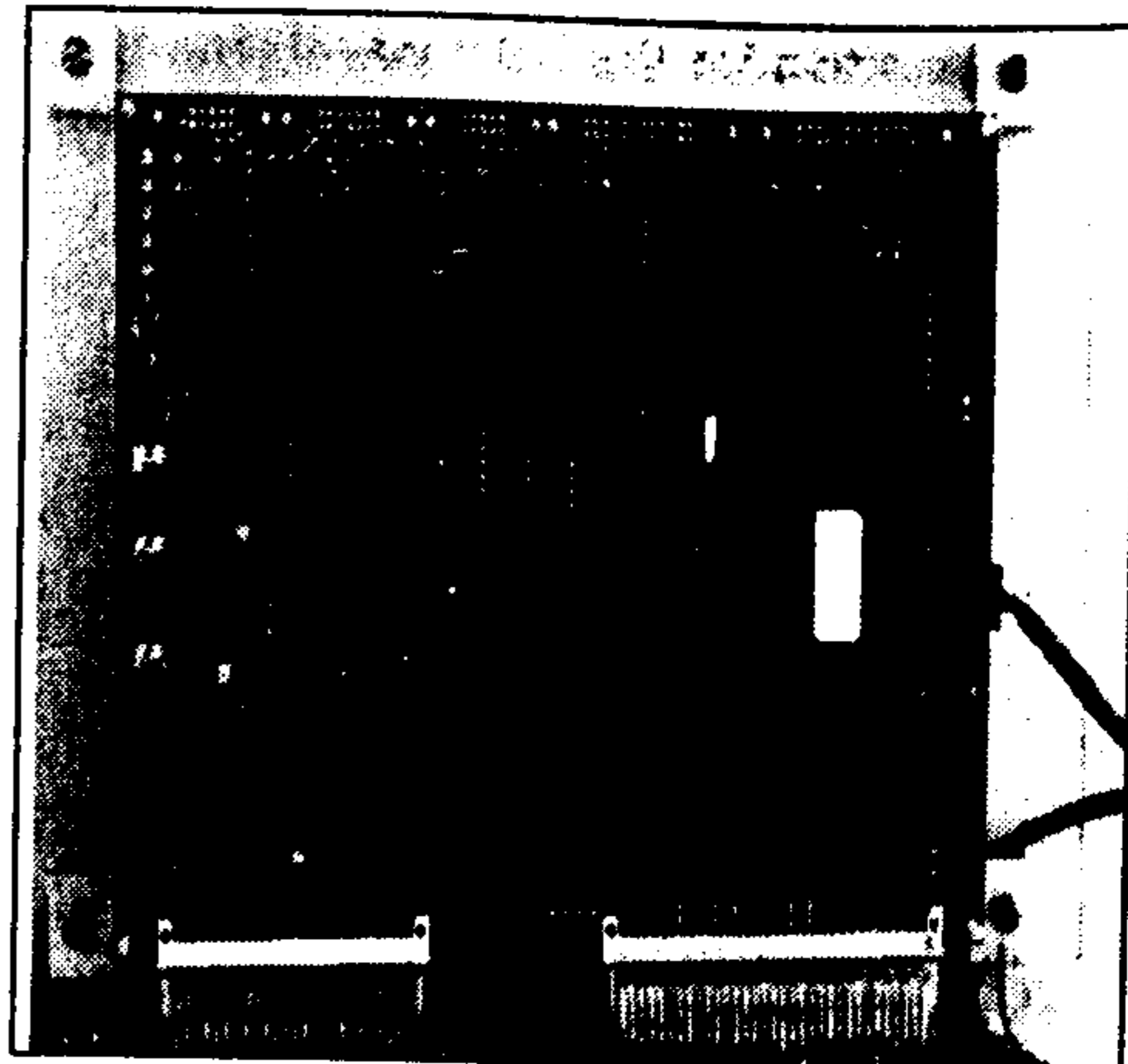


Figura 1. Placa del nuevo control local

### 3.3. Situación actual.

Actualmente esta placa está instalada, desde el mes de septiembre de 1996, en el heliostato GM100 y se está ensayando desde entonces. El heliostato GM100, situado a unos 500 metros de distancia de la sala de control CESA1, está siendo operado diariamente mediante un enlace por radio con un radiomodem convencional a baja velocidad y con una resolución en codificadores de 40000bits por revolución. Durante estos ensayos se está depurando igualmente el funcionamiento y las estrategias de operación. En estos ocho meses de operación rutinaria ha sido depurada la rutina de cálculo pudiendo constatar el correcto apunte y operación del mismo con porcentaje prácticamente nulo de averías.

Debido a la flexibilidad en el hardware y software de la placa prototipo, actualmente está siendo adaptada para el control de colectores cilíndrico parabólicos (proyecto DISS) mediante el empleo de codificadores absolutos. Dicha adaptación ya es un hecho desde el pasado mes de febrero en el que fue puesto por primera vez en seguimiento un colector, en montaje aún, del proyecto DISS (lazo LS3). Si las pruebas son satisfactorias, este control local será incorporado en el campo de colectores de gran tamaño del proyecto DISS el año que viene.

Con objeto de avanzar en el concepto de heliostato autónomo, el CIEMAT y la Universidad de Almería han firmado un acuerdo de colaboración mediante el cual se pretende realizar el diseño y fabricación de un radiomodem avanzado de alta velocidad y de desarrollar un protocolo de comunicaciones para el control de un campo de heliostatos mediante radio.

### 4. Perspectivas de futuro.

Las perspectivas de futuro se fundamentan principalmente en desarrollar y construir un segundo prototipo con las ideas y conceptos indicados anteriormente, enfocado a su comercialización y optimización de costes. Debido, a nuestro juicio, a que el concepto de comercialización no había sido aún desarrollado en profundidad, la perspectiva de futuro de estos nuevos sistemas es prometedora y augura buenos resultados teniendo en cuenta, por un lado, el actual vacío comercial en componentes

solares (lo que obliga, en muchos casos, a ahogar cualquier iniciativa privada) y, por otro, a que los precios actuales de los diferentes heliostatos existentes son excesivos ya que se parte de prototipos de muy limitada producción y con componentes, en la mayoría de los casos, especiales y concebidos con ideas experimentales.

Como ya hemos demostrado en el proyecto DISS, todo este esfuerzo en el control es extensible y utilizable para cualquier dispositivo que necesite seguimiento solar (heliostato, colectores cilindrico-parabólicos, colectores stirling, etc...). Esto amplía considerablemente el número de aplicaciones.

La infraestructura actual de la PSA es un campo inmejorable para el desarrollo futuro de los protocolos de comunicación y realización de ensayos de optimización del nuevo sistema de control. Ello nos obliga, en un plazo relativamente corto, a reemplazar y actualizar los controles locales de todos los heliostatos de la PSA.

## **5. Sistema de comunicaciones de un campo de heliostatos autónomos mediante radio.**

### **5.1. Introducción**

Las comunicaciones entre heliostato y control central hasta ahora han sido convencionalmente por cable. Este tipo de soporte físico conlleva los inconvenientes de una infraestructura poco flexible debido a que las canalizaciones necesarias para el tendido de las líneas subterráneas han de modificarse o ampliarse cuando se añaden nuevos heliostatos al campo. Una alternativa a las comunicaciones por cable son las comunicaciones vía radio, con ellas se consiguen ventajas importantes que a continuación detallamos.

### **5.2.- Ventajas**

Eliminación de las canalizaciones y de las líneas físicas. Con el empleo de una red de comunicaciones por radio y estaciones autónomas de alimentación eléctrica mediante energía fotovoltaica, no es necesario la conexión a ninguna línea física. El ahorro en obra civil y tendidos de cable puede justificar económicamente este nuevo concepto.

Mayor flexibilidad en modificaciones y/o en ampliaciones del campo.

Mayor inmunidad frente a descargas eléctricas. Los daños quedan delimitados a los heliostatos afectados por la descarga no transmitiéndose a otros al no haber línea física.

Posibilidad de acceso simultáneo a varios heliostatos debido a la mayor rapidez de asimilación de órdenes que por línea física. Si se utilizan las comunicaciones vía radio se pueden utilizar **múltiples canales de comunicación** simultáneos. Ello nos permite enviar órdenes al campo de forma global, a grupos o individualmente a un heliostato. Los heliostatos afectados por la orden pueden asimilar la misma de forma simultánea. Este concepto puede mejorar sustancialmente la respuesta de un campo de heliostatos.

### **5.3.- Descripción del sistema de comunicaciones.**

En la descripción se deberá tener en cuenta la topología de las comunicaciones, las funciones del Radiomodem-heliostato, la estructura del Host Central y la seguridad en las comunicaciones.

#### **5.3.1- Topología.**

Se propone una Topología en estrella con un protocolo de comunicaciones tipo "Polling" bidireccional, donde una estación central envía órdenes e interroga a



cada heliostato para conocer su estado. Para aumentar la velocidad total de las comunicaciones, se divide el campo de  $n$  heliostatos en  $\sqrt{n}$  grupos con  $\sqrt{n}$  heliostatos por grupo. Así pues, necesitamos  $\sqrt{n}$  canales bidireccionales a distintas frecuencias.

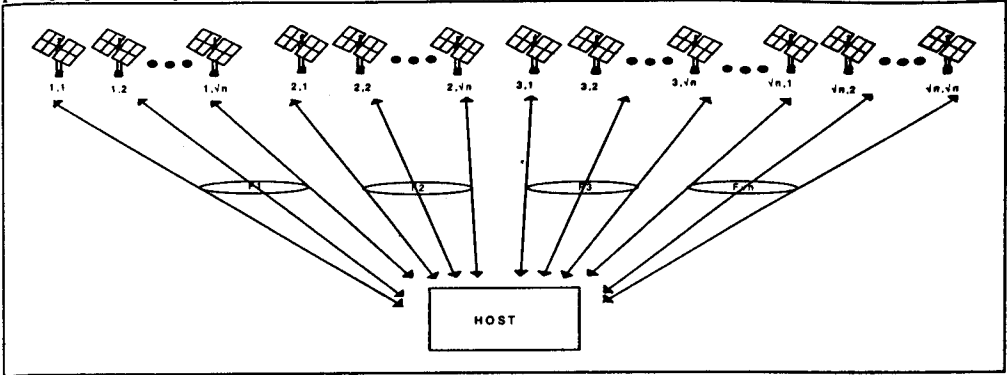


Figura 2. Comunicaciones con  $\sqrt{n}$  Polling de  $\sqrt{n}$  elementos con  $\sqrt{n}$  frecuencias.

### 5.3.2- Radiomodem-Heliostato

Un microcontrolador ( $\mu C$ ) es el encargado de gobernar a un modem, conectado a un equipo de radio, a un buffer bidireccional (mediante memoria RAM), a un reloj en tiempo real y a una interface de comunicaciones serie empleada para comunicar con el heliostato. El equipo de radio empleado trabaja en la banda de UHF transmitiendo/recibiendo la señal modulada por el modem. Configurando el modem, podemos trabajar en distintos tipos de modulación siendo QAM o GMSK las más adecuadas. Con un ancho de banda de 12,5 KHz (de acuerdo a la normativa existente), es muy factible alcanzar velocidades de 9600 bits/s. El diálogo con el heliostato es con un protocolo serie RS232C.

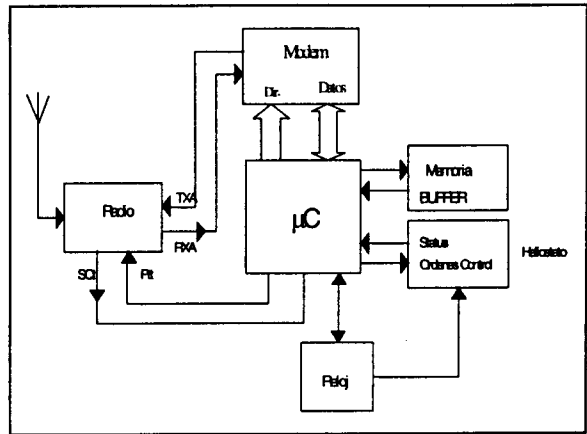


Figura 3. Radiomodem de un heliostato

### 5.3.3- Estructura del Host Central

La estructura del Radiomodem de este elemento es similar a la del Radiomodem-Heliostato, con la diferencia de que no necesita el reloj de tiempo real, ya que esta información la suministra el Computador Central, el cual lee la hora de un patrón GPS con la precisión de  $1\mu s$ . La comunicación entre el computador y los  $\sqrt{n}$  Radiomodem se realiza mediante la norma RS232-C.

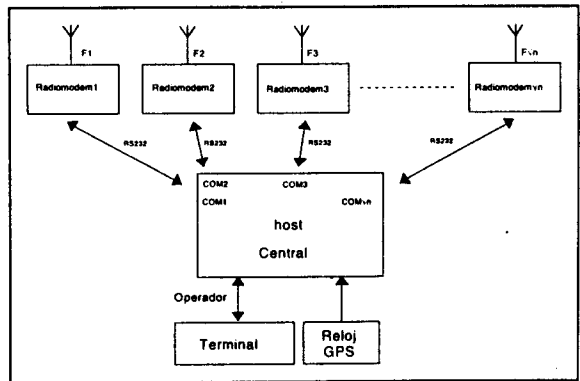


Figura 4. Diagrama de bloques del sistema

Existen tarjetas multipuerto serie para PC con 32 puertos. Una de estas tarjetas podría soportar la comunicación con 32 Radiomodem y con  $32^2 = 1024$  heliostatos. Con otro tipo de tarjeta se puede disponer de más de 32 puertos.

El operador del Host Central, mediante un software de alto nivel, estará informando del estado de cada heliostato pudiendo enviar órdenes colectivas o individuales.

### 5.3.4- Seguridad en las Comunicaciones

El proceso de recepción de una orden permite la detección de la alteración de bits debido a errores en la transmisión. Al mismo tiempo, este proceso protege al sistema de la posible repetición de tramas de órdenes ya emitidas por medio de "elementos extraños al sistema". El Radiomodem también identifica si el heliostato al cual está conectado es el destino del mensaje filtrando los erróneos, los extraños y los que no van dirigidos a éste.

En la figura 5 se muestra el proceso de generación de la trama de bits que se manda hacia el modem y en la figura 6 se muestra el organigrama del proceso de recepción y filtrado de una trama.

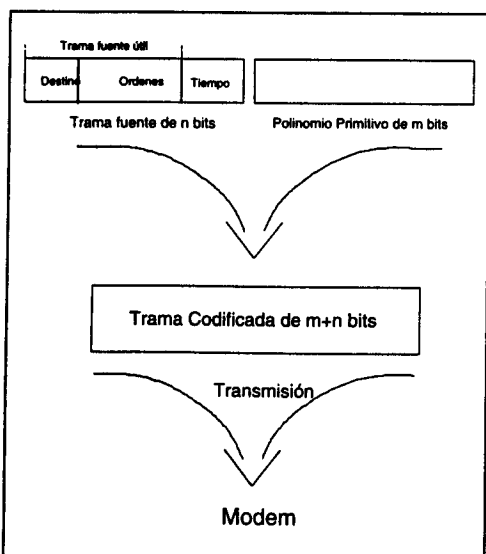


Figura 5. Generación de la trama. (Salida del Host).

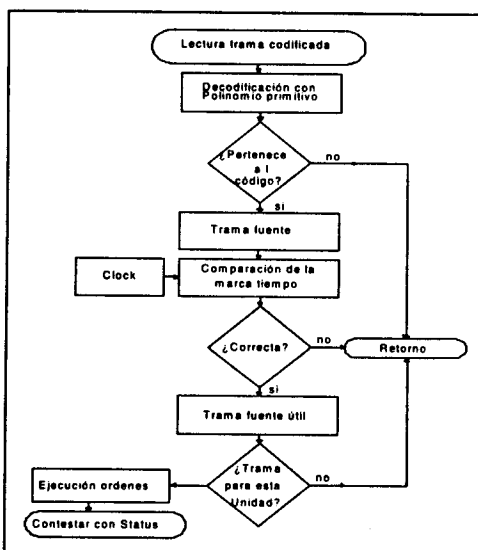


Figura 6. Proceso de recepción de una trama.

## 6. Referencias

1. G. García. "Technical development of a new stand-alone heliostat field control". Solar Paces Technical Report TRIII-4/95, June 1995.
2. G. García, A. Egea, J.L. Pascual "Prototipo de heliostato GM100-A. Informe del desarrollo del control local". PSA, diciembre 1996.
3. R. Monterreal. "Prototipo de heliostato GM100-A. Informe de aceptación". PSA, diciembre 1996.
4. F. Gómez, G. Olivares, A. Prieto, J.A. Gázquez. "Spiral: A Microprocessor Based Telemetry and Telecontrol System". International Journal of Microcomputer Applications, VOL 10, nº 1, 1991 pp 22-28.