

Plataforma
Solar de
Almería



INFORME ANUAL 2006



Ciemat Centro de Investigaciones
Energéticas, Medioambientales
y Tecnológicas

ÍNDICE

| | | |
|--------|---|----|
| 1 | Presentación General..... | 7 |
| 1.1 | La PSA como gran instalación solar: Datos generales..... | 7 |
| 1.2 | Estructura Funcional..... | 8 |
| 1.3 | Recursos Económicos y Humanos..... | 9 |
| 1.4 | Entorno de Colaboración..... | 10 |
| 1.5 | Actividades de Formación..... | 13 |
| 1.6 | Actividades de Acceso Nacional a la PSA..... | 14 |
| 2 | Instalaciones e infraestructuras..... | 17 |
| 2.1 | Descripción General de la PSA..... | 17 |
| 2.2 | Instalaciones de Receptor Central: CESA-1 y CRS..... | 18 |
| 2.2.1 | La instalación CESA-I de 7 MW _T | 18 |
| 2.2.2 | La instalación SSPS-CRS de 2,7 MW _T | 20 |
| 2.3 | Instalaciones con Concentradores de Foco Lineal: DCS, DISS, EUROROUGH y LS3..... | 21 |
| 2.3.1 | La planta experimental DISS..... | 22 |
| 2.3.2 | El lazo de ensayoS LS-3 (HTF)..... | 23 |
| 2.4 | Sistemas Disco-Stirling: DISTAL y EURODISH..... | 24 |
| 2.4.1 | Fundamentos..... | 24 |
| 2.4.2 | DISTAL I..... | 25 |
| 2.4.3 | DISTAL II..... | 26 |
| 2.4.4 | EURODISH..... | 26 |
| 2.5 | El Horno Solar..... | 27 |
| 2.5.1 | Descripción General y Principio de Funcionamiento..... | 27 |
| 2.5.2 | Helióstatos..... | 27 |
| 2.5.3 | Concentrador..... | 28 |
| 2.5.4 | Atenuador..... | 28 |
| 2.5.5 | Mesa de Ensayos..... | 28 |
| 2.5.6 | Distribucion de la Densidad de Flujo en el Foco..... | 28 |
| 2.6 | Instalaciones para Aplicaciones de Fotoquímica Solar..... | 29 |
| 2.7 | Laboratorio de Análisis de la PSA..... | 29 |
| 2.8 | Planta SOL-14 de desalación de agua de mar con energía solar térmica..... | 30 |
| 2.9 | Plataforma de Ensayo de Captadores Solares Estáticos..... | 31 |
| 2.10 | Otras Instalaciones..... | 32 |
| 2.10.1 | Estación Meteorológica de la PSA..... | 32 |
| 2.10.2 | El laboratorio de calibración espectral..... | 34 |
| 2.10.3 | Laboratorio de Ensayos Energéticos para Componentes de la Edificación (LECE)..... | 35 |
| 3 | Unidad de Sistemas de Concentración Solar..... | 37 |
| 3.1 | Introducción..... | 37 |
| 3.2 | Grupo de Media Concentración..... | 38 |
| 3.2.1 | DISTOR..... | 39 |
| 3.2.2 | Almería GDV:..... | 41 |
| 3.2.3 | Tubos Absorbedores de Bajo Coste..... | 43 |
| 3.2.4 | Recubrimientos Absorbentes Avanzados para Baja Temperatura..... | 45 |
| 3.2.5 | FASOL..... | 46 |
| 3.2.6 | Fluidos de trabajo innovadores para Colectores Cilindro Parabólicos..... | 47 |
| 3.2.7 | Otras actividades del Grupo de Media Concentración..... | 49 |
| 3.3 | Grupo de Alta Concentración..... | 50 |
| 3.3.1 | SOLAR TRES..... | 51 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 3.3.2 | Desarrollo del receptor para una central solar termoeléctrica de sales fundidas. | 53 |
| 3.3.3 | PS10 | 55 |
| 3.3.4 | HICONPV | 56 |
| 3.3.5 | AVANSOL..... | 58 |
| 3.3.6 | SolHyCo..... | 59 |
| 3.3.7 | MEPSOCON | 61 |
| 3.4 | Grupo de Combustibles Solares y Solarización de Procesos Industriales..... | 63 |
| 3.4.1 | Producción de hidrógeno..... | 63 |
| 3.4.2 | INNOHYP | 64 |
| 3.4.3 | SYNPET | 66 |
| 3.4.4 | SolterH..... | 68 |
| 3.4.5 | PHISICO2 | 69 |
| 3.4.6 | HYDROSOL-II..... | 71 |
| 3.4.7 | SolarPRO | 73 |
| 3.5 | Referencias..... | 76 |
| 4 | Unidad de Aplicaciones Medioambientales de la Energía Solar y Caracterización de la Radiación Solar | 81 |
| 4.1 | Introducción..... | 81 |
| 4.2 | Grupo de Detoxificación y Desinfección de Aguas..... | 82 |
| 4.2.1 | FOTODETOX | 83 |
| 4.2.2 | CADOX | 85 |
| 4.2.3 | PhotoNanoTech..... | 87 |
| 4.2.4 | INNOWATECH..... | 88 |
| 4.2.5 | SODISWATER | 90 |
| 4.2.6 | FITOSOL | 91 |
| 4.2.7 | Plan Nacional de Acceso a la PSA. | 93 |
| 4.3 | Grupo de Detoxificación en Aire..... | 96 |
| 4.3.1 | Desarrollo de métodos alternativos de preparación de materiales fotocatalíticos de alta eficiencia..... | 96 |
| 4.3.2 | DETOX-H ₂ S | 98 |
| 4.4 | Grupo de desalación solar..... | 100 |
| 4.4.1 | AQUASOL..... | 100 |
| 4.4.2 | MEDESOL..... | 102 |
| 4.4.3 | OSMOSOL | 103 |
| 4.5 | Caracterización de la Radiación Solar | 105 |
| 4.5.1 | Acceso a la Información Radiométrica del Ciemat..... | 105 |
| 4.5.2 | MEDERAS..... | 108 |
| 4.5.3 | Proyectos de Colaboración con Empresas Promotoras de Centrales Solares..... | 109 |
| 4.6 | Referencias..... | 110 |
| 5 | Eventos..... | 117 |
| 5.1 | Congresos científicos..... | 119 |
| 5.2 | Participación en ferias y congresos..... | 120 |
| 5.3 | Otras visitas..... | 120 |
| 6 | Lista de Acrónimos..... | 123 |

Mensaje del Director

Diego Martínez Plaza

Este año 2006 ha estado marcado por un evento muy especial para todos nosotros, la celebración del XXV aniversario de la Plataforma Solar de Almería. Por tal motivo, el año ha estado lleno de visitas ilustres. Hay que hacer especial mención a las dos Ministras que han ocupado la cartera de Educación y Ciencia en el transcurso de este año y que han tenido a bien visitarnos: Dña. María Jesús Sansegundo y Dña. Mercedes Cabrera. También se ha interesado por nuestras instalaciones el Ministro de Industria, Comercio y Turismo, D. Joan Clos; que nos visitó acompañado del Consejero de Innovación, Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía, D. Francisco Vallejo.

Las celebraciones tuvieron su punto culminante con un acto social que tuvo lugar en nuestras instalaciones el 28 de octubre. Este evento sirvió además para homenajear a aquellos compañeros que vieron la PSA aquel 21 de septiembre de 1981 y que hoy continúan prestando sus servicios en nuestro Centro. El Director General del CIEMAT hizo entrega de un galardón conmemorativo a cada uno de estos compañeros en un emotivo acto.

En este momento quizás sea bueno hacer una reflexión y es que las actuales circunstancias de despliegue comercial de esta tecnología, con las primeras plantas de generación eléctrica termosolar a punto de iniciar su andadura, es el mejor regalo de aniversario que podíamos desear.

Además, nuestro Centro está creciendo, como si estos veinticinco años hubiesen supuesto su mayoría de edad. La PSA está consolidándose a nivel nacional e incluso a nivel mundial como el centro de referencia para el estudio de la tecnología solar de concentración. Estamos creciendo en cuanto a recursos humanos, en cantidad y en calidad, y también en cuanto a recursos materiales para llevar a cabo nuestra labor. Por supuesto, el decidido apoyo de nuestros responsables dentro del CIEMAT es un claro catalizador de este crecimiento.

El interés de la industria en las aplicaciones que desarrollamos en nuestro Centro es cada vez más marcado; se reciben gran número de visitas de delegaciones empresariales que desean saber más sobre la tecnología y se están firmando acuerdos de colaboración con importantes grupos industriales.

Para terminar de redondear el año, la PSA ha participado como entidad organizadora del 'XIII SolarPACES Symposium', junto con la Universidad de Sevilla y la asociación española de empresas del sector solar termoeléctrico 'PROTERMOSOLAR'. El simposio se celebró en la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla y resultó ser la edición más exitosa de todas cuantas se han celebrado. De nuevo el especial auge que vive esta tecnología reforzado con el enfoque orientado a empresas por parte de los organizadores han contribuido a este éxito.

Igualmente, y como ya viene siendo costumbre, hemos participado con un stand en la 'Feria de las Energías Renovables y las Tecnologías del Agua', que en su tercera edición se ha celebrado en Almería.

En cuanto a la actividad investigadora, hay que reseñar diversos éxitos conseguidos a lo largo de este año.

Por un lado, la PSA ha entrado de lleno en el esquema nacional denominado 'Acceso y Mejora de Instalaciones Científicas Singulares', habiendo obtenido dos contratos consecutivos, uno en 2005 y otro en 2006, teniendo ya ad-

quiridos compromisos hasta el año 2008 para proveer de acceso a nuestras instalaciones a la comunidad científica española.

Notables éxitos también de la **Unidad de Aplicaciones Medioambientales de la Energía Solar y Caracterización de la Radiación Solar' (AMES)**, con especial referencia a la obtención de un proyecto del programa CONSOLIDER, del Plan Nacional. Este proyecto, denominado 'TRAGUA', ha sido el único concedido relacionado con el tratamiento de aguas. Aparte de esto, se ha conseguido la aprobación de hasta seis nuevos proyectos internacionales cofinanciados con fondos de la Comisión Europea.

En esta **Unidad de Sistemas Solares de Concentración (SSC)** se continúa trabajando en la tecnología de generación directa de vapor (GDV) mediante dos procesos en paralelo. El primero de ellos, desde el punto de vista de la investigación, tiene que ver con despejar la última incógnita tecnológica del proceso GDV: el almacenamiento térmico. Para ello la PSA participa en el proyecto europeo DISTOR. El segundo proceso tiene más que ver con el desarrollo tecnológico y la demostración, y consiste en la promoción de un consorcio industrial que construirá y operará en régimen comercial una planta solar de 3 MW_e basada en esta tecnología GDV en los terrenos de la PSA.

Por otra parte, la actividad desempeñada por la **Unidad SSC** en relación con la tecnología de receptor central ha estado enfocada hacia la colaboración tecnológica con las empresas promotoras de dos proyectos comerciales de plantas de torre: PS10 y SOLAR TRES.

Las colaboraciones de carácter institucional también se han visto reforzadas este año. En primer lugar hay que decir que se ha renovado por otros tres años el Convenio Hispano-Alemán que soporta la colaboración con el Instituto Aeroespacial Alemán (DLR) desde los inicios de la PSA.

Por otro lado, la continuada e intensa colaboración con la Universidad de Almería (UAL) continúa focalizada en el centro mixto CIEMAT-UAL para la investigación conjunta de aplicaciones de la energía solar (CIESOL). CIESOL está representado físicamente en un edificio de laboratorios ubicado en el campus de la UAL y que se inauguró en el año 2005. Aparte de los proyectos que vienen desarrollándose conjuntamente entre grupos de ambas instituciones, este año merece especial mención la apertura de la primera edición del 'Master en Energía Solar' del CIESOL.

Las actividades de formación y diseminación continúan con paso firme, ya que somos conscientes de que no debemos descuidar la faceta de informar a la sociedad acerca de la existencia de esta opción dentro de las energías renovables. Se mantienen los convenios educativos con distintas universidades y centros de investigación de todo el mundo.

No quisiera terminar esta introducción sin agradecer el buen hacer y profesionalidad de todo el personal de la PSA durante este año.



Diego Martínez Plaza
Director de la Plataforma Solar de Almería

1 Presentación General

Diego Martínez Plaza

1.1 La PSA como gran instalación solar: Datos generales

La Plataforma Solar de Almería (PSA), perteneciente al Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), es el mayor centro de investigación, desarrollo y ensayos de Europa dedicado a las tecnologías solares de concentración. La PSA desarrolla sus actividades integrada como una División de I+D dentro de la estructura del Departamento de Energía del CIEMAT.

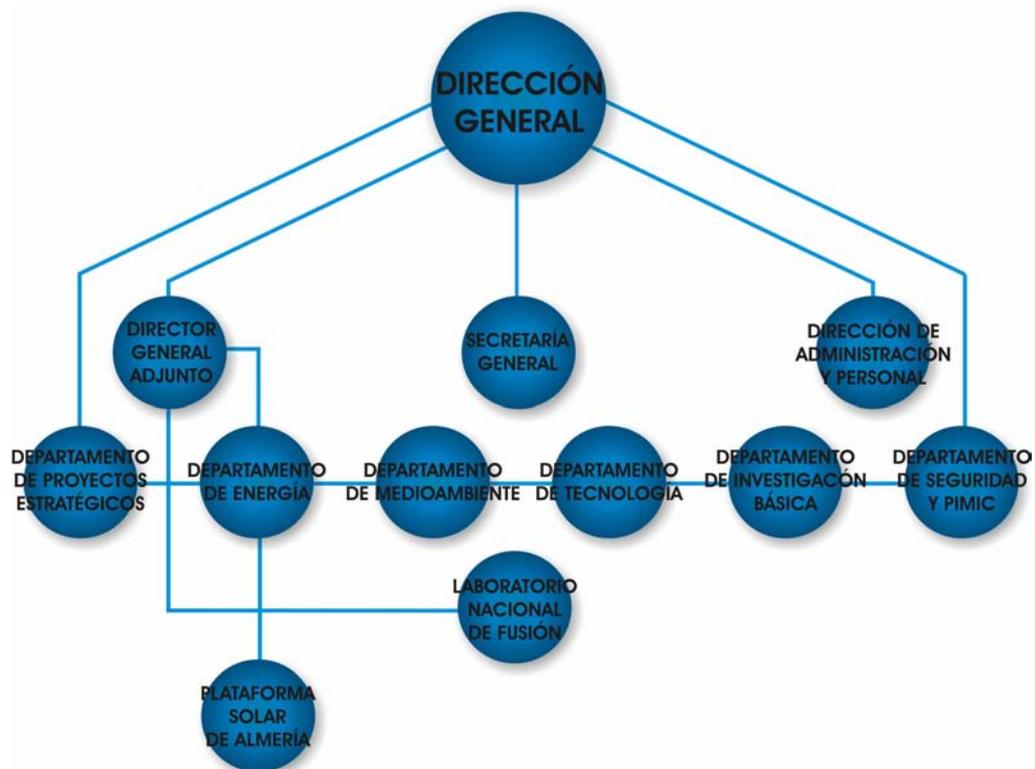


Figura 1.1 Integración de la PSA en la estructura orgánica del CIEMAT



Figura 1.2 Vista aérea de la Plataforma Solar de Almería

Los objetivos que inspiran su actividad investigadora son los siguientes:

- Contribuir al establecimiento de un esquema de suministro energético mundial limpio y sostenible.
- Contribuir a la conservación de los recursos energéticos de Europa y a la protección de su clima y medio ambiente.
- Promover la introducción en el mercado de las tecnologías termosolares y las derivadas de los procesos de química solar.
- Contribuir al desarrollo de una industria termosolar española exportadora y competitiva.
- Reforzar la cooperación entre el sector empresarial y las instituciones científicas en el campo de la investigación, el desarrollo, la demostración y el marketing de las tecnologías termosolares.
- Potenciar innovaciones tecnológicas orientadas a la reducción de costes que contribuyan a incrementar la aceptación en el mercado de las tecnologías termosolares.
- Promover la cooperación tecnológica Norte – Sur, especialmente en el Área Mediterránea.
- Apoyar a la industria en la identificación de oportunidades de mercado relacionadas con las tecnologías termosolares.

1.2 Estructura Funcional

Durante el año 2006 la actividad investigadora que se lleva a cabo en la Plataforma Solar de Almería se ha estructurado en torno a dos Unidades de I+D:

- Unidad de Sistemas Solares de Concentración.
- Unidad de Aplicaciones Medioambientales de la Energía Solar y Caracterización del Recurso Solar.

La primera está dedicada al desarrollo de nuevas y mejores formas de producir electricidad por medios termosolares y la segunda a explorar las posibilidades químicas de la energía solar, sobre todo en lo que se refiere a su potencial para la destoxificación, desalación y desinfección de aguas.

Como apoyo a las Unidades de I+D anteriormente mencionados, la PSA cuenta con las correspondientes áreas de gestión y servicios técnicos, englobadas en la Unidad de Gestión de la PSA.

Las Unidades cuentan con una gran autonomía para la ejecución del presupuesto, la planificación de sus objetivos científicos y la gestión técnica de sus recursos. No obstante, las dos Unidades de I+D comparten una gran cantidad de recursos, servicios e infraestructuras de la PSA, por lo que han de mantener en todo momento una comunicación fluida con la Unidad de Gestión, que coordina los servicios de apoyo técnico y de administración. Por su parte la Oficina de Dirección ha de velar porque las capacidades, infraestructuras y recursos humanos de apoyo son distribuidos de forma eficiente. Es también la Oficina de Dirección quién canaliza las demandas hacia las distintas unidades de apoyo general del CIEMAT ubicadas en la sede de Madrid.

1.3 Recursos Económicos y Humanos

Los compromisos científicos y técnicos de la PSA y la carga de trabajo asociada que ello comporta son acometidos por un equipo humano de 112 personas que constituye a diciembre de 2006 la plantilla que de forma permanente presta sus servicios para la Plataforma Solar. A esta plantilla se viene a sumar un importante caudal humano en forma de becas de formación y estancias de personal investigador externo que son gestionadas a través de la Oficina de Dirección.

De las 112 personas que diariamente desarrollan su trabajo en la PSA, 55 son personal de CIEMAT, 21 de ellos ubicados en la sede de Madrid. Además, hay que considerar la aportación del colectivo de 12 personas que constituyen la delegación permanente que DLR tiene en la PSA como consecuencia del desarrollo de los actuales compromisos del Convenio Hispano Alemán.

El resto del personal está formado por un colectivo no menos importante dadas las características del centro. Se trata del personal de las contratadas de operación, mantenimiento y limpieza de las distintas instalaciones. Son 32 personas que se distribuyen en 14 personas del servicio de operación y 18 para servicios de mantenimiento. Por otro lado, la contrata de servicios auxiliares están formadas por 8 administrativos y secretarías, 2 técnicos de servicio a usuarios de informática y 5 vigilantes de seguridad.

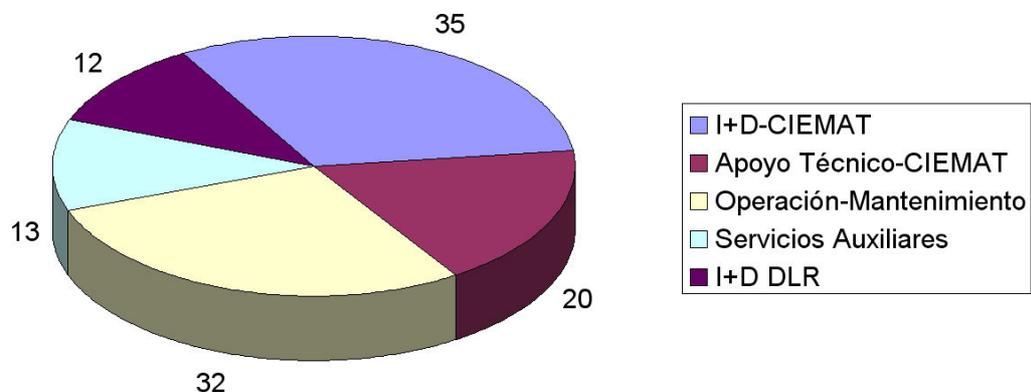


Figura 1.3 Distribución del personal que desarrolla su actividad en la PSA de forma permanente a Diciembre de 2006

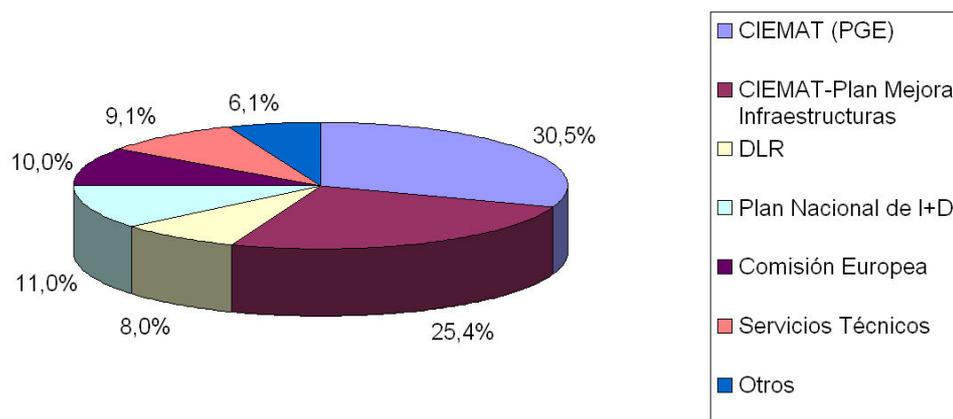


Figura 1.4 Distribución Ingresos PSA 2006

Hay que hacer hincapié en el esfuerzo que realiza el CIEMAT desde hace unos años en cuanto a dotar a la PSA de los recursos humanos necesarios. Este esfuerzo continuado está permitiendo acometer nuestra labor con mayores garantías de éxito.

En lo que se refiere al presupuesto de gasto de la PSA, se puede apreciar una tendencia creciente, gracias en buena medida a una mayor captación de ingresos.

En la captación de ingresos procedentes de la Comisión Europea ha tenido una contribución destacable nuestro socio por defecto, el DLR. El planteamiento de un buen número de nuevos proyectos conjuntos a la CE ha facilitado que DLR siga presente en la PSA en una nueva relación basada en la realización de proyectos específicos y fruto de este éxito es la relevancia de la delegación alemana en la PSA.

También han aumentado significativamente el número de proyectos financiados a través del Plan Nacional de I+D, en cuyas convocatorias se aprecia una apuesta creciente por las energías renovables y, en particular, por las tecnologías solares de concentración.

El presupuesto de la PSA alcanzó en el año 2006 los 8,54 millones de Euros (no se incluyen en este presupuesto los costes de personal de I+D). La contribución de CIEMAT se vio incrementada con el fin de acometer las actividades aprobadas para este año en el Plan de Mejora de Infraestructuras de la PSA. Este plan está dedicado a mejoras de envergadura que son necesarias en las principales infraestructuras: edificios, campos de helióstatos, etc.

1.4 Entorno de Colaboración

Como se ha referido con anterioridad la PSA es objeto desde el año 1987 de un convenio de colaboración hispano-alemán, concretamente entre el CIEMAT y el DLR (Instituto de Investigación Aeroespacial Alemán), habitualmente conocido como el CHA. En la actualidad las relaciones y compromisos de colaboración científica se regulan a través del Anexo V de dicho Convenio, que recoge el compromiso de mantener una delegación permanente de DLR en la PSA durante los años 2006 a 2008.

La firma de este nuevo Anexo V tuvo lugar el 13 de junio en la sede del DLR en Colonia (Alemania).



Con todo, el entorno de colaboración en que se mueve la PSA es notablemente amplio. En el ámbito internacional, la PSA participa activamente en las Tareas I, II y III del programa 'SolarPACES' de la Agencia Internacional de la

Energía, donde se intercambia información y se realizan tareas a costes compartidos con centros homólogos en varios países (EEUU, México, Italia, Alemania, Francia, Suiza, Comisión Europea, Sudáfrica, Israel, Argelia y Egipto).

Por otro lado, la PSA-CIEMAT forma parte del 'Laboratorio Asociado Europeo de Energía Solar' (SolLAB). Este laboratorio virtual está constituido por los principales institutos europeos de investigación en energía solar concentrada, es decir: el PROMES-CNRS de Odeillo (Francia), la división de energía solar del DLR en Colonia (Alemania), el laboratorio de energías renovables del Instituto Tecnológico Federal de Zürich (Suiza) y el propio CIEMAT. El acuerdo se firmó en octubre de 2004 y las tareas coordinadas han empezado ya a dar sus frutos, especialmente en los campos de la medida de flujo y temperatura y de la formación de estudiantes pre-doctorales. El 'Paul Scherrer Institut' de Suiza ha formalizado su adhesión a 'SolLAB' como nuevo miembro en este año 2006.

La actividad de 'SolLAB' aumenta en intensidad cada año, habiéndose creado ya diversos grupos de trabajo con líneas de colaboración establecidas, en concreto, durante el año 2006 se han llevado a cabo las siguientes actividades, por orden cronológico:

- Creación del grupo de trabajo sobre 'Receptores para procesos a alta temperatura'. La primera reunión tuvo lugar el 24 de enero en la PSA.
- Reunión del grupo de trabajo sobre medida de flujo y temperatura, coincidiendo con el Simposio de SolarPACES que tuvo lugar en junio en la Escuela de Ingenieros de Sevilla.
- Reunión conjunta con representantes de la Comisión Europea. Bruselas, 8 de agosto.



Figura 1.5 Asistentes al Comité Ejecutivo de 'SolLAB', el 15 de octubre en Monte Veritá

- Creación del grupo de trabajo sobre ensayo y calificación de materiales para procesos solares a alta temperatura. Primera reunión en PROMES-CNRS, Odeillo (Francia) el 4 de septiembre.
- Emisión del folleto explicativo de 'SoLAB'. En octubre.
- Reunión del comité ejecutivo el 15 de octubre en Monte Verità (Suiza).
- Seminario anual conjunto de los estudiantes de doctorado. Del 16 al 18 de octubre en Monte Verità (Suiza).
- Campaña de comparación de radiómetros en el horno solar del DLR, en Colonia (Alemania). Entre los meses de octubre y noviembre.

Con respecto a las actividades de formación, se cuenta con un convenio para la gestión de becas conjuntas con la Universidad de Almería (UAL) y acuerdos educacionales para recibir a estudiantes procedentes de universidades de todo el mundo.

De hecho, esta duradera colaboración con la UAL se ha visto recientemente incrementada y consolidada con la creación del 'Centro Mixto CIE-MAT-UAL para la Investigación en Energía Solar', denominado 'CIESOL'.

Aparte de los proyectos que se vienen desarrollando conjuntamente en varios campos de la ciencia, este año ha echado a andar el 'I Master en Energía Solar' de CIESOL.

Este master tendrá una duración de un curso académico y en principio forma parte del catálogo de 'enseñanzas propias' de la Universidad de Almería.

Desde el momento de su concepción, este master ha pretendido sacar el máximo partido a la disponibilidad de PSA-CIEMAT. Por ello se ha decidido que sea un master 'solo solar', no entrando en el campo de otras fuentes de energía renovables, aunque sí que toca todas las posibles aplicaciones de la energía solar desde su uso en invernaderos hasta las aplicaciones a muy alta temperatura en hornos solares, pasando por la fotovoltaica o la producción de hidrógeno.

El cupo previsto de 30 alumnos ha sido cubierto por completo en esta primera edición, siendo necesario realizar una selección entre las 76 solicitudes recibidas.

Aparte de todas estas colaboraciones de carácter institucional, hay que reseñar que cada una de las dos Unidades de I+D mantiene un abanico estable de colaboraciones que abarcan a universidades, PYMEs y grandes compañías, tanto nacionales como internacionales.

En cuanto a universidades, es de destacar el volumen de actividades conjuntas con las de Almería (CIESOL), Sevilla, La Laguna ó la UNED.

Master en Energía Solar

Energía Solar Térmica y Fotovoltaica
Principales Aplicaciones
en Agricultura y Tratamiento de Aguas

www.ciesol.com — www.ciesol.es **OCTUBRE 2006**

Para Más Información:
- Ana María Rodríguez Fuentes
e-mail: amrodriguez@ual.es
Teléfono: 905 015 477
- Francisco Javier Ballea Garrido
e-mail: fballea@ciesol.com
Teléfono: 905 015 914

CIESOL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR
INSTITUTO MIXTO UAL-CIEMAT

Dirigido a postgraduados, alumnos del segundo ciclo de licenciatura y profesionales interesados en el aprovechamiento de la Energía Solar.

El Master está estructurado en los siguientes módulos:

- Evaluación de recursos energéticos solares.
- Energía solar térmica de baja temperatura.
- Arquitectura Bioclimática.
- Energía solar térmica de media temperatura.
- Energía solar térmica de alta temperatura.
- Energía solar fotovoltaica.
- Aplicaciones de la energía solar al tratamiento de aguas.
- Aplicaciones de la energía solar a la agricultura.
- Legislación y aspectos económicos de la energía solar.

Número de plazas: 30; Duración: 300 horas; Precio: 2700 euros (becas 100% y 50%).
Horario: viernes tarde y sábado mañana.
Prácticas: Se realizarán en la Plataforma Solar de Almería y Laboratorios del Edificio CIESOL.
Preinscripción: 3 a 21 de Julio de 2006.
Matrícula: 1 a 11 de septiembre de 2006 en la Facultad de Ciencias Experimentales.

Patrocinan

www.ciesol.com — www.ciesol.es

Figura 1.6 Cartel anunciador del master 'Ciesol'

La colaboración es intensa también con importantes compañías nacionales, tales como IBERDROLA, SOLUCAR (Grupo ABENGOA), GAMESA, SENER o ECOSYSTEM.

En el ámbito internacional hay que resaltar la colaboración asidua con centros de investigación como el 'Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems' ó el ZSW de Alemania y el 'Weizmann Institute of Science' (Israel).

También se colabora con empresas como 'FLABEG Solar', FICHTNER y 'Schlaich, Bergermann und Partner', de Alemania u ORMAT (Israel).

Las nuevas líneas de investigación en 'combustibles solares y calor de proceso' han dado lugar al establecimiento de nuevas colaboraciones; entre ellas podemos citar al Instituto de Tecnología Cerámica de Castellón, a la empresa venezolana 'Petroleos de Venezuela, S.A.', al ENEA italiano ó al CEA francés.

Muy recientemente se han lanzado ambiciosas líneas de colaboración con los países del Magreb. En concreto, se han firmado acuerdos marco de colaboración con el CNRST marroquí y con la agencia NEAL (New Energy Algeria) de Argelia.

Hay que decir también que cada vez se colabora más con entidades del entorno más cercano, valgan como ejemplo empresas como DERETIL, CAJAMAR, COHEXPAL y la Comunidad de Regantes Cuatro Vegas.

En Centro y Sudamérica hay colaboraciones estables con el Centro de Investigaciones Eléctricas y la Universidad Nacional Autónoma de México ó la Comisión Nacional de Energía Atómica de Argentina.

1.5 Actividades de Formación

El principio que rige el **programa de formación de la Plataforma Solar de Almería** es la creación de una generación de jóvenes investigadores que puedan contribuir al despliegue de la energía solar térmica en todas sus posibles aplicaciones. Por medio de este programa se viene admitiendo cada año a alrededor de una treintena de estudiantes de distintas nacionalidades contribuyendo de esa forma a que se transmita a nuevas generaciones de titulados el conocimiento acumulado en la PSA acerca de la tecnología solar térmica durante veinticinco años de realización de experiencias.

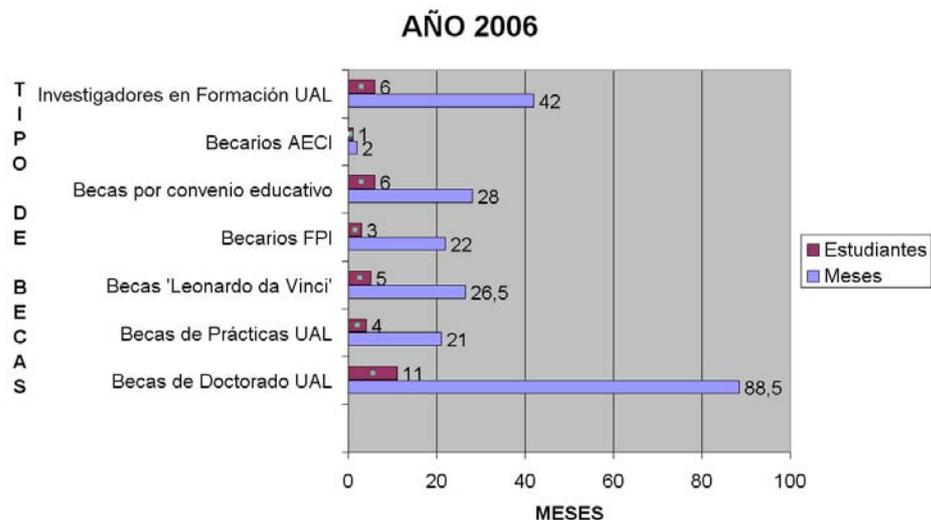


Figura 1.7 Becarios año 2006

Las principales vertientes de dicho programa de formación han sido las siguientes:

- Gestión del programa de becas pre-doctorales asociado a un convenio anual con la Universidad de Almería (UAL).
- Gestión del programa de becas de prácticas asociado a un convenio anual con la Fundación Mediterránea de la UAL.
- Becas 'Leonardo da Vinci', dotadas con fondos europeos para estancias de estudiantes de otros países, principalmente alemanes.
- Gestión de diversos acuerdos específicos de colaboración educativa con otras entidades para enviar estudiantes a la PSA.



Figura 1.8 Asistentes al seminario celebrado en Monte Verità

El establecimiento en el año 2004 del laboratorio solar virtual europeo 'SoLLAB' ha abierto nuevas posibilidades para el desarrollo científico de los investigadores en formación de la PSA. Una de las primeras actividades conjuntas iniciadas por SoLLAB ha sido la celebración con frecuencia anual de un seminario para los estudiantes de doctorado de las cuatro instituciones. Durante los días 16 a 18 de octubre de este año 2006 ha tenido lugar, con la asistencia de unos treinta doctorandos, la segunda edición de este seminario, organizado en esta ocasión por la Escuela Politécnica Federal de Zürich (ETHZ) en la sede de Monte Verità (Suiza).

Un evento similar ha tenido lugar, a nivel interno, en el Departamento de Energía del CIEMAT. Se celebró los días 25 a 27 de septiembre con la asistencia de todos los doctorandos del Departamento.

1.6 Actividades de Acceso Nacional a la PSA

El Plan Nacional de I+D ha iniciado desde el año 2005 una nueva línea de actividad destinada a promocionar las grandes infraestructuras científicas nacionales (GGII). Esta línea, gestionada por la Subdirección General de Infraestructuras Científicas, ha diseñado unas convocatorias anuales para las GGII. Estas convocatorias constan de dos apartados claramente diferenciados, uno de 'Ayudas para la Mejora' y otro de 'Oferta de Acceso'.

Esta oferta de acceso está orientada a optimizar el uso de las GGII nacionales, costeando el acceso a las mismas por parte de investigadores de otras instituciones.

Este acceso se concede en base a unas convocatorias públicas anuales que deben de ser emitidas por la PSA. Posteriormente, un 'Comité Externo de Expertos' realiza una valoración de la calidad científica de las propuestas recibidas y asigna 'tiempos de uso' a las que resultan seleccionadas.

La PSA ha tenido éxito en las convocatorias que este programa nacional de acceso y mejora ha emitido en 2005 y en 2006, teniendo actualmente comprometida la convocatoria de ofertas de acceso hasta el año 2008.

Se puede encontrar información sobre la convocatoria actual de acceso a la PSA en nuestra página 'web':

http://www.psa.es/webesp/projects/acceso_nacional/index.php

2 Instalaciones e infraestructuras

2.1 Descripción General de la PSA

La PSA está situada en el Sudeste de España en el Desierto de Tabernas a 37°05'27,8" Latitud Norte y 2°21'19" Longitud Oeste. Recibe una insolación directa anual por encima de los 1.900 kWh/(m²·año) y la temperatura media anual está en torno a los 17°C.

La capacidad que tiene la PSA de ofrecer a los investigadores una localización de características climáticas y de insolación similares a las de los países en vías de desarrollo de la franja ecuatorial (donde radica el mayor potencial de energía solar) pero con todas las ventajas propias de las grandes instalaciones científicas de los países europeos más avanzados, la convierten en un lugar privilegiado para la evaluación, la demostración y la transferencia de las tecnologías solares.

En la actualidad, las principales instalaciones de ensayos disponibles en la PSA son:

- Los sistemas de receptor central CESA-1 y SSPS-CRS de 7 y 2,7 MWt, respectivamente.
- El sistema de colectores cilindro-parabólicos SSPS-DCS de 1,2 MWt, que tiene asociado un sistema de almacenamiento térmico y una planta de desalación de agua.
- El lazo de ensayos DISS de 1,8 MWt, que constituye un excelente sis-

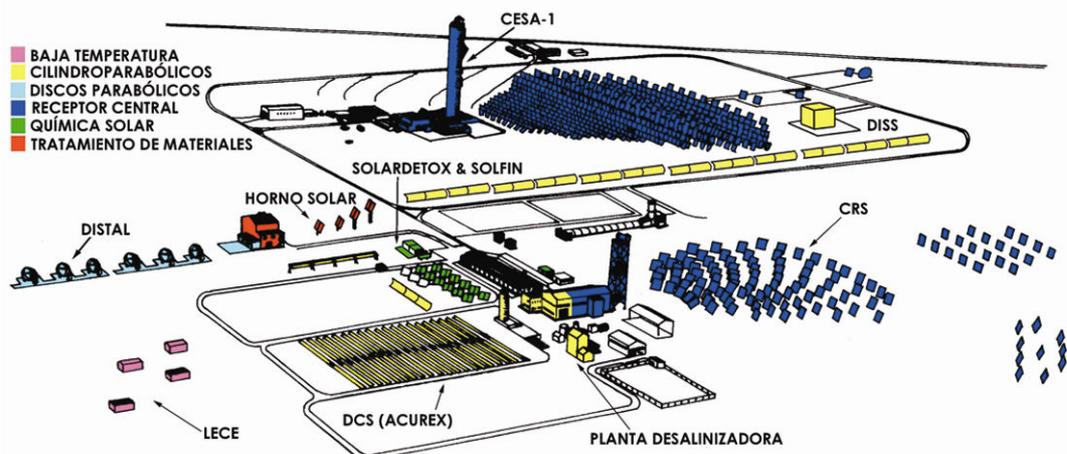


Figura 2.1 Ubicación de las principales instalaciones de ensayo de la PSA

tema experimental para la investigación del flujo bifásico y la generación directa de vapor para producción de electricidad.

- El lazo de ensayos HTF, dotado de un completo circuito de aceite que permite la evaluación de nuevos componentes para colectores cilindro-parabólicos.
- Una instalación con 6 sistemas disco-Stirling denominada DISTAL.
- Un horno solar de 60 kWt para procesos de tratamiento térmico de materiales.
- Una instalación múltiple para aplicaciones de destoxificación solar, compuesta de un lazo de colectores cilindro-parabólicos con seguimiento en dos ejes y tres lazos de fotorreactores tipo CPC, para la realización de diferentes tipos de ensayos.
- El Laboratorio de Ensayo Energético de Componentes de la Edificación (LECE).
- Una estación meteorológica.

2.2 Instalaciones de Receptor Central: CESA-1 y CRS

La PSA cuenta con dos instalaciones excepcionales para el ensayo y validación de componentes y aplicaciones con tecnología de receptor central. Las instalaciones CRS y CESA-1 permiten abordar proyectos y validar tecnologías en el rango de los cientos de kilovatios a varios megavatios. Son por tanto dos laboratorios a intemperie especialmente acondicionados para escalar y cualificar sistemas en su fase previa a la etapa de demostración comercial.

2.2.1 La instalación CESA-I de 7 MW_T

El proyecto CESA-I fue promovido por el Ministerio de Industria y Energía de España e inaugurado en mayo de 1983 para demostrar la viabilidad de las plantas solares de receptor central y para permitir el desarrollo de la tecnología necesaria. En la actualidad CESA-I ya no produce electricidad, sino que se opera, con un alto grado de flexibilidad, como una instalación de ensayo de componentes y subsistemas como helióstatos, receptores solares, sistemas de



Figura 2.2 Vista lateral de la instalación CESA-I con las filas de helióstatos enfocando al nivel intermedio de ensayos (60 m.)

almacenamiento térmico, turbinas de gas solarizadas, sistemas de control e instrumentación para la medida de altos flujos de radiación solar concentrada. También es utilizada para otras aplicaciones que requieran altas concentraciones fotónicas sobre superficies relativamente grandes, como es el caso de procesos químicos a alta temperatura, tratamiento superficial de materiales o experimentos astrofísicos.

La instalación capta la radiación solar directa por medio de un campo de 300 helióstatos, de 39,6 m² de superficie cada uno, distribuidos en un campo norte de 16 filas con una extensión de 330 x 250 m. Los helióstatos tienen una reflectividad nominal promedio del 90%, el error de seguimiento solar en cada eje es de 1,2 mrad y la calidad de imagen en rayo reflejado de 3 mrad. La instalación CESA-I cuenta con la experiencia más extensa en helióstatos tipo vidrio-metal que hay en el mundo, disponiendo en su campo de unidades de primera generación fabricadas por SENER y CASA, así como unidades con facetas reflectantes de segunda generación de la empresa ASINEL y facetas y prototipos de tercera generación desarrollados por CIEMAT en colaboración con la empresa SOLUCAR. A pesar de sus más de 20 años de antigüedad, el campo de helióstatos se encuentra en un estado óptimo de funcionamiento al haberse mantenido con carácter estratégico un programa continuado de reposición de espejos y facetas y de reparación de componentes en los mecanismos de accionamiento. Al Norte del campo de helióstatos se ubican dos áreas adicionales que son utilizadas como plataforma de pruebas de nuevos prototipos de helióstatos, una situada a 380 m de la torre y la otra a 500 m de distancia. La máxima potencia térmica que proporciona el campo sobre la apertura del receptor es de 7 MW. A una irradiancia típica de diseño de 950 W/m², se obtiene un flujo pico de 3,3 MW/m². El 99% de la potencia se recoge en un círculo con diámetro de 4 m y el 90% de la misma en un círculo de 2,8 m.

La torre es de hormigón y tiene una altura de 80 m, siendo capaz de soportar una carga de 100 toneladas. A lo largo de la torre hay tres niveles de ensayo:

- Una cavidad adaptada para su uso como horno solar y ensayo de materiales, situada a 45 m de altura, que ha sido utilizada con gran éxito en la reproducción de la rampa de calentamiento, durante su reentrada en la atmósfera, de las piezas del escudo cerámico de los transbordadores espaciales y también en el tratamiento superficial de aceros y otros compuestos metálicos.
- Una cavidad con un banco calorimétrico de ensayo de receptores volumétricos presurizados a 60 m. En la actualidad esta cavidad aloja la infraestructura del proyecto SOLGATE, que incluye tres receptores volumétricos con una potencial total incidente cercana a 1 MW y una turbina solarizada de 250 kW, a lo que se suma el correspondiente generador eléctrico, circuito de aire, sistema de rechazo de calor y escudo térmico.
- La instalación de ensayo de receptores volumétricos atmosféricos TSA de 2,5 MW en la parte superior de la torre, a la cota de 80 m.

La torre se completa con una grúa en la parte superior con 5 toneladas de capacidad y un elevador montacargas con capacidad para 1.000 kg. Por último para aquellos ensayos que requieran producción de electricidad, la instalación dispone de una turbina de ciclo Rankine de doble etapa y de 1,2 MW diseñada para operar a 520°C y 100 bar de presión del vapor sobrecalentado.

2.2.2 La instalación SSPS-CRS de 2,7 MW_T

La planta SSPS-CRS fue inaugurada como parte del proyecto SSPS (Small Solar Power Systems) de la Agencia Internacional de la Energía en septiembre de 1981. Originalmente era una planta de demostración para producción de electricidad y utilizaba un receptor refrigerado por sodio líquido que era además utilizado como medio de almacenamiento térmico. Actualmente, al igual que la planta CESA-I, es una instalación de ensayos dedicada fundamentalmente al ensayo de pequeños receptores solares en el rango de 200-350 kW de potencia térmica. El campo de helióstatos está formado por 91 unidades de Martin-Marietta de primera generación de 39,3 m² de superficie cada una. Existe un segundo campo con 20 helióstatos de 52 m² y 65 m² en la zona norte que puede también ser utilizado como apoyo, en este caso son helióstatos de segunda generación de MBB y Asinel. El campo de helióstatos CRS ha sido recientemente mejorado con la reposición de todas las facetas reflectantes, que en la actualidad son de estructura ligera y vidrio de bajo contenido en hierro. Como gran novedad, cabe reseñar que durante el año 2003, se ha llevado a cabo la conversión de todos sus helióstatos en unidades autónomas totalmente inteligentes, comunicadas por radio y alimentadas por energía fotovoltaica, siguiendo el concepto desarrollado y patentado por investigadores de la PSA. En la actualidad la instalación CRS dispone del primer campo de helióstatos autónomos, que no precisa del uso de zanjas ni cableados, gracias al apoyo económico obtenido por el Ministerio de Ciencia y Tecnología, en su Programa PROFIT.

La reflectividad nominal promedio del campo es del 90%, el error de seguimiento solar es de 1,2 mrad por eje y la calidad óptica en rayo reflejado es de 3 mrad. En condiciones típicas de irradiancia de 950 W/m², la potencia térmica total del campo asciende a 2,7 MW y se obtiene un flujo pico de 2,5 MW/m². El 99% de la potencia se recoge en un círculo con diámetro de 2,5 m y el 90% de la misma en un círculo de 1,8 m.

La torre de 43 m de altura es metálica y dispone de dos plataformas de ensayo. La primera plataforma ocupa dos niveles a 32 y 26 m de altura y es una zona diáfana preparada para acoger ensayos de nuevos receptores para aplicaciones químicas. La segunda se encuentra en la parte superior, a 43 m de altura, y alberga un recinto cerrado con puente grúa y un banco de ensayos calorimétrico para la evaluación de pequeños receptores volumétricos a presión atmosférica.

La infraestructura de la torre se completa con una grúa con capacidad para 600 kg y un elevador de cremallera con capacidad para 1.000 kg.

El banco de ensayos consta de un circuito de aire de recirculación con ventilador axial y un calefactor eléctrico de 40 kW para controlar la temperatura del aire de retorno, así como instrumentación de medida de tempe-

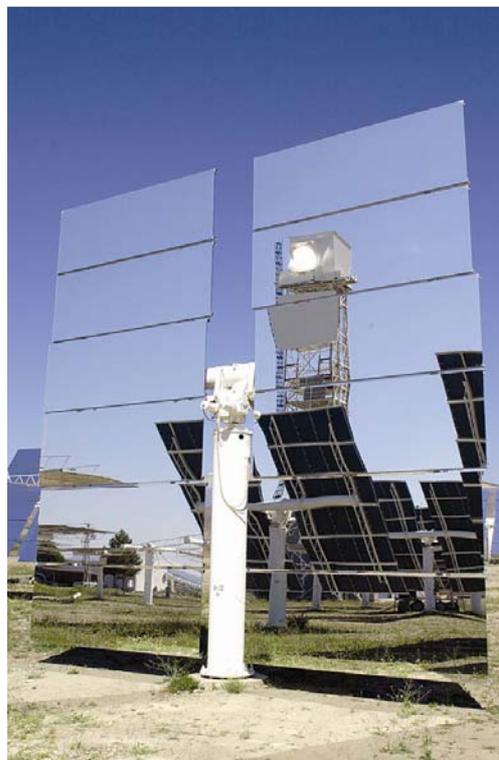


Figura 2.3 Un helióstato del campo CRS con vista reflejada de la torre

raturas, presión y caudal. El aire de salida del absorbedor es enfriado mediante el uso de un intercambiador de calor refrigerado por agua, la cual es usada como método indirecto para realizar el balance térmico. El banco calorimétrico viene siendo usado con éxito desde el año 1986, con las lógicas mejoras y actualizaciones, en la evaluación de todo tipo de absorbedores volumétricos metálicos y cerámicos.

Para la medida de flujo de radiación solar concentrada en ambas torres, se utilizan dos sistemas de medida PROHERMES II (Programmable Heliostat and Receiver Measuring System II). Para ello, el haz de radiación solar concentrada incidente es interceptado por un blanco de características difusoras (Lambertian), situado en un plano paralelo e inmediatamente anterior al que contiene a la apertura del receptor, instante en el que un dispositivo CCD de alta resolución adquiere la correspondiente imagen.



Figura 2.4 Vista frontal del banco de ensayos de receptores volumétricos en la torre CRS, en el rango de 200-350 kW.

Luego de un tratamiento exhaustivo de la imagen (sustracción del ruido electrónico de fondo, corrección de efectos aberrantes introducidos por el equipo de visión y rectificación geométrica), el valor en la escala de grises asociado a cada píxel experimenta una última transformación, denominada calibrado. Esta operación consiste en hallar experimentalmente una determinada ley o criterio que unívocamente asocie a cada valor dado de irradiancia solar (W/cm^2) sobre un determinado lugar del blanco, un valor en la escala de grises del píxel asociado a esa misma posición obtenida previamente con la cámara. Una vez calibrado el mapa de píxeles, y conocida el área que estos representan individualmente sobre el blanco, puede integrarse la potencia total, así como realizar el cálculo del resto de las magnitudes de interés, tales como el pico o estadísticos de la distribución de irradiancia.

2.3 Instalaciones con Concentradores de Foco Lineal: DCS, DISS, EUROTROUGH y LS3

La PSA cuenta actualmente con diversas instalaciones de colectores solares cilindro-parabólicos. Algunas de ellas, como es el caso de la instalación SSPS-DCS, fueron sistemas pioneros en Europa, mientras que otras instalaciones más modernas, como es el caso de la planta experimental DISS, son únicas en el mundo y colocan a la PSA en una posición privilegiada para la investigación y el desarrollo de nuevas aplicaciones para los colectores cilindro-parabólicos. A continuación se explican, de forma resumida, las características principales de todas estas instalaciones.

2.3.1 La planta experimental DISS

Esta instalación fue montada y puesta en funcionamiento en el año 1998, con el fin de llevar a cabo experimentos relacionados con la generación directa de vapor a alta presión y temperatura (100 bar/400°C) en los tubos absorbedores de colectores cilindro-parabólicos. La planta DISS es la única instalación existente actualmente en el mundo para el estudio bajo condiciones solares reales de todos aquellos procesos en los que se genere un flujo bifásico agua/vapor en colectores cilindro-parabólicos. Resulta muy apropiada no solo para el estudio y desarrollo de esquemas de control para campos solares que funcionan con generación directa de vapor, sino también para el estudio y optimización de los procedimientos de operación que deben implementarse en este tipo de campos solares. Otras de las posibles aplicaciones de esta planta son: el estudio de los coeficientes de transferencia de calor en tubos horizontales por cuyo interior circula un flujo bifásico agua/vapor, y el ensayo de componentes para campos solares de colectores cilindro-parabólicos con generación directa de vapor en sus tubos absorbedores.

La planta DISS consta de dos subsistemas: el Campo Solar con colectores cilindro-parabólicos, y el Sistema de Potencia. En el campo solar, el agua de alimentación es precalentada, evaporada y convertida en vapor sobrecalentado conforme circula por los tubos absorbedores de una fila de colectores cilindro-parabólicos de 665 m de longitud y 3.838 m² de superficie de captación solar. La instalación de dos nuevos colectores en el año 2003 ha permitido aumentar hasta 1 kg/s el caudal nominal de vapor sobrecalentado que puede producir la fila de colectores DISS.

El Sistema de Potencia de la planta DISS es el lugar donde el vapor sobrecalentado producido por el campo solar es condensado, procesado y utilizado de nuevo como agua de alimentación para el campo solar (funcionamiento en ciclo cerrado).

Esta instalación en su conjunto posee un alto grado de flexibilidad de operación, pudiendo trabajar hasta 100 bar de presión en función de las necesidades, y con cualquiera de los tres procesos básicos de generación directa de vapor: Recirculación, Inyección y Un-Solo-Paso, o combinación de ellos. (Habitualmente se trabaja en tres niveles diferentes de presión, 30, 60 y 100 bar.) Además, está dotada de una completa gama de instrumentos que permiten una total monitorización del sistema.

La figura adjunta (Figura 2.6) muestra el esquema simplificado de la planta DISS. En ella se observa que el campo solar consta de una fila compuesta por 13



Figura 2.5 Lazo DISS en operación

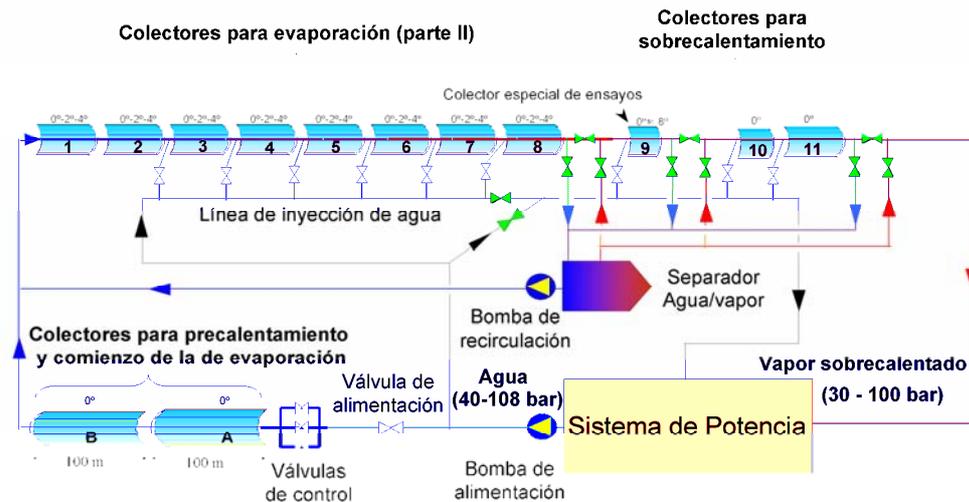


Figura 2.6 Esquema simplificado del lazo DISS existente en la PSA

colectores solares cilindro-parabólicos cuyo eje de rotación esta orientado en la dirección norte-sur. Los colectores están compuestos por módulos reflectantes cilindro-parabólicos de 12 m de largo y 5,76 m de ancho. El campo solar consta de dos partes: la sección de precalentamiento/evaporación, y la sección de sobrecalentamiento. Al final de la sección de precalentamiento/evaporación existe una bomba de recirculación y un separador agua/vapor que aumentan la flexibilidad operativa del sistema. El Sistema de Potencia consta de separadores de agua/vapor, condensadores, sistema de dosificación química, precalentadores, desgasificador y bombas de agua.

Una de las características más importantes de la planta DISS es la posibilidad de medir el gradiente térmico en secciones transversales de los tubos absorbedores de los colectores solares cilindro-parabólicos.

2.3.2 El lazo de ensayos LS-3 (HTF)

El lazo de ensayo LS-3, también llamado lazo de ensayo HTF, fue instalado en el año 1997 y constituye una instalación idónea para evaluar, en condiciones reales de operación con energía solar, componentes para colectores cilindro-parabólicos. Espejos, tubos absorbedores, sistemas de seguimiento solar, etc., pueden ser instalados y evaluados en esta instalación, que cuenta con los dispositivos de medida y monitorización adecuados para ello

La Instalación original constaba de un circuito cerrado de aceite térmico conectado a un colector solar formado por 4 módulos cilindro-parabólicos del tipo LS-3, de 12 m de longitud y 5,7 m de anchura, con una superficie total de captación solar de 274 m². El aceite térmico usado en esta instalación (Syltherm 800) tiene una temperatura máxima de trabajo de 420°C, y un punto de congelación de -40°C. El colector solar tiene su eje de rotación orientado en dirección Este-Oeste, lo que permite aumentar el número de horas al año en las que el ángulo de incidencia de la radiación solar es menor de 5°.

El circuito de aceite de esta instalación tiene una presión de trabajo máxima de 16 bar y está constituido por los siguientes elementos:

- Tanque de expansión para el aceite, de 1m³ de capacidad, con sistema automático de inertización mediante nitrógeno.
- Tanque de drenaje del circuito de aceite.



Figura 2.7 Vista general del lazo HTF

- Enfriador de aceite mediante flujo de aire, con un poder de enfriamiento máximo de 400 kW. Dispone de un variador de velocidad para controlar el caudal de aire.
- Bomba centrífuga de aceite, con un caudal de hasta 8,3 litros por segundo.
- Calentador de aceite, de 40 kW, 3 x 380 V.

Dentro del lazo de ensayo HTF, y en paralelo con su colector solar inicial, se instaló posteriormente el primer prototipo de colector EUROTROUGH. El diseño de colector EUROTROUGH ha sido desarrollado por un consorcio europeo que con la ayuda financiera de la Comisión Europea ha diseñado, construido, montado en la PSA y evaluado bajo condiciones reales de operación un nuevo colector cilindro-parabólico apto no solo para plantas termosolares de generación de electricidad, sino también para otras aplicaciones como la desalinización del agua de mar o la alimentación de grandes procesos industriales que consumen energía térmica dentro del rango 150°C – 425°C. Una vez concluido el proyecto EUROTROUGH, los socios participantes en dicho proyecto han cedido este primer prototipo al CIEMAT para su operación y mantenimiento, pasando a formar parte de los sistemas con colectores cilindro-parabólicos que actualmente existen en la PSA. Con la instalación del colector EUROTROUGH en el lazo HTF, el área de captación de este sistema ha sido aumentada hasta los 685 m².

2.4 Sistemas Disco-Stirling: DISTAL y EURODISH

2.4.1 Fundamentos

Un sistema disco/Stirling consta de un espejo parabólico de gran diámetro con un motor de combustión externa tipo 'Stirling' emplazado en su área focal.

El espejo parabólico -disco- realiza seguimiento solar continuado, de manera que los rayos solares son reflejados en su plano focal, obteniéndose así un mapa de energía solar concentrada, de forma gaussiana y varias decenas de kW.

El motor Stirling es un motor de combustión externa que emplea el ciclo termodinámico del mismo nombre y que presenta dos ventajas que le hacen muy adecuado para esta aplicación:

Es de combustión externa, es decir, el aporte energético puede realizarse mediante la luz solar recogida por el disco parabólico y concentrada en su zona focal. Es un ciclo de alto rendimiento termodinámico.

El motor Stirling lleva acoplado un alternador, de manera que dentro de un mismo bloque situado en el foco del disco concentrador se realiza la transformación de la energía luminosa en electricidad que se puede inyectar en la red eléctrica ó bien destinarla a consumo directo en alguna aplicación próxima al lugar de emplazamiento.

Los sistemas disco-Stirling tienen su aplicación más obvia en la producción de electricidad para autoconsumo en lugares aislados donde no llegue la red eléctrica, como ejemplos podemos citar: el bombeo de agua en pozos ó el suministro de electricidad a núcleos de viviendas rurales.

El rango óptimo de potencias para ser competitivo en el mercado energético estaría en el orden de unas decenas de kilowatios donde aspiraría a competir con sistemas ya comerciales como los fotovoltaicos o los generadores diesel.

Desde el comienzo de las actividades en 1992, tres generaciones de prototipos se han sido montadas y operadas rutinariamente en la PSA para su evaluación técnica: DISTAL I, DISTAL II y EuroDISH.

2.4.2 DISTAL I

En operación desde 1992, esta instalación consistió inicialmente de 3 unidades de disco parabólico de 7,5 metros de diámetro capaces de recoger hasta 40 kW_t de energía, con un motor Stirling SOLO V160 capaz de generar hasta 9 kW_e situado en su zona focal.

El prototipo de concentrador se construyó aplicando la tecnología de membrana tensionada, la cual mantiene la forma parabólica mediante una pequeña bomba de vacío. Su reflectividad es del 94% y es capaz de concentrar la luz solar hasta 12.000 veces en el centro de su foco de 12 cm de

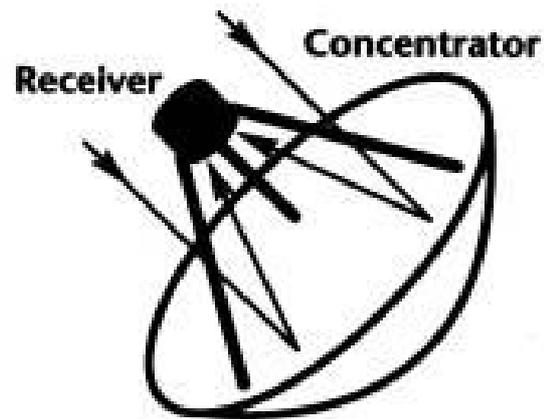


Figura 2.8 Esquema de funcionamiento de un disco parabólico con motor Stirling en el foco.



Figura 2.9 Un sistema DISTAL I en operación en la Plataforma Solar de Almería

diámetro. Su distancia focal es de 4,5 metros y el sistema de seguimiento es polar.

Dos unidades DISTAL I fueron desmanteladas en el año 2000 para ser reemplazadas por unidades EuroDISH de tercera generación.

2.4.3 DISTAL II

Como primer intento por obtener un sistema de mejores prestaciones y coste por kW_e más reducido, se llevó a cabo el proyecto DISTAL II. Durante los años 1996 y 1997 fueron instalados y puestos en operación rutinaria tres nuevos discos basados en la tecnología de membrana tensiada.

Estos prototipos tienen un diámetro ligeramente mayor, 8,5 m, con lo que la energía térmica aportada al motor es de 50 kW_t. Su distancia focal es de 4,1 m y el valor máximo de concentración es de 16.000 soles en el centro de su foco. El motor Stirling también ha evolucionado, tratándose ahora del modelo SOLO V161, de 10 kW_e. El sistema de seguimiento es ahora del tipo acimut-elevación, con lo que se consigue la operación automática en modo orto-ocaso.

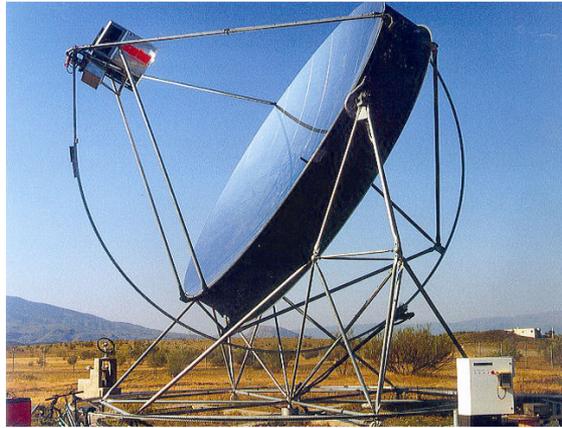


Figura 2.10 Unidad DISTAL II

2.4.4 EURODISH

El segundo y, por ahora, último intento para acercar esta tecnología al umbral de la rentabilidad económica ha sido el proyecto hispano-alemán 'EuroDISH'.

Se han diseñado y construido dos nuevos prototipos, en los cuales se ha pretendido actuar sobre los siguientes aspectos:



Figura 2.11 EuroDISH vista desde delante y detrás

- Reducción del precio de los componentes mediante la identificación de elementos de uso estándar en la industria.
- Desarrollo de un nuevo sistema de fabricación para el disco concentrador. Se ha abandonado la tecnología de membrana tensionada y se ha utilizado un sistema de moldes y material 'composite'.
- Mejora del motor 'Stirling' SOLO V161, especialmente de aquellos componentes utilizados en la cavidad que recibe la energía solar concentrada.
- Desarrollo de un nuevo procedimiento optimizado para el montaje del sistema, usando nuevas herramientas especiales.
- Control y monitorización remotos a través del WWW.
- Ensayo de unidades precomerciales como sistemas de referencia.

2.5 El Horno Solar

2.5.1 Descripción General y Principio de Funcionamiento

Los hornos solares alcanzan los más altos niveles energéticos que se pueden obtener con un sistema solar de concentración, habiéndose conseguido concentraciones por encima de los 10.000 soles.

Su campo de aplicación comprende principalmente los ensayos de materiales, tanto en condiciones ambientales como en atmósferas controladas o vacío, y experimentos de química solar mediante receptores asociados a reactores químicos.

Constan esencialmente de un helióstato plano que realiza seguimiento solar continuo, un espejo parabólico concentrador, un atenuador o persiana y la zona de ensayos situada en el foco del concentrador [Martínez y Rodríguez, 1998].

El espejo captador plano -helióstato- refleja los rayos solares paralelos y horizontales sobre el disco parabólico, el cual los vuelve a reflejar concentrándolos en su foco (área de ensayos). La cantidad de luz incidente se regula mediante el atenuador situado entre el concentrador y el helióstato. Bajo el foco se encuentra la mesa de ensayos que tiene movimiento en las tres dimensiones espaciales (Este-Oeste, Norte-Sur, arriba-abajo), y sirve para posicionar las probetas con gran exactitud en el foco.

2.5.2 Helióstatos

Los helióstatos están formados por una superficie reflectiva compuesta por múltiples facetas planas -no concentradoras- que reflejan los rayos solares horizontales y paralelos al eje óptico del concentrador y hacen seguimiento continuo del disco solar.

El horno solar de la PSA consta de cuatro helióstatos dispuestos en dos niveles, cada uno de los cuales enfoca a una esquina del concentrador, de manera que se asegura la iluminación completa del concentrador durante el periodo operativo.

Los helióstatos constan de 16 facetas de tipo sandwich de 3,35 m², lo que da un total de 53,58 m². Cada una está compuesta por dos espejos con un 90% de reflectividad y van fijadas a un marco portante por 30 ventosas.

2.5.3 Concentrador

El disco concentrador es el componente principal del horno solar. Concentra la luz incidente proveniente del helióstato, multiplicando la energía radiante en la zona focal. Sus propiedades ópticas afectan especialmente a la distribución de flujo en el foco.

Está compuesto por 89 facetas esféricas con un total de 98,5 m² de superficie y un 92% de reflectividad. Su distancia focal es de 7,45 m. La superficie parabólica se consigue con el uso de facetas de curvatura esférica, distribuidas según cinco radios de curvatura distintos según su distancia al foco.

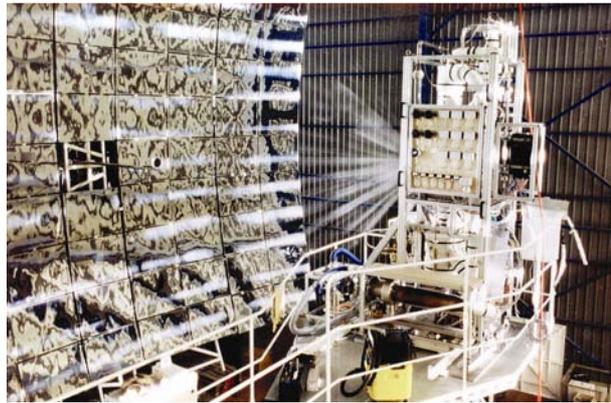


Figura 2.12 Disco concentrador del Horno Solar (izquierda) y receptor en operación dentro de la zona focal (derecha).

2.5.4 Atenuador

El atenuador consiste en un conjunto de lamas dispuestas horizontalmente que, mediante un movimiento giratorio sobre su eje, regulan la entrada de luz solar incidente en el concentrador. La energía total en el foco es proporcional a la radiación que pasa a través del atenuador.

Está compuesto por 30 lamas dispuestas en dos columnas de 15. En posición cerrado las lamas forman un ángulo de 55° con la horizontal y en abierto 0°.



Figura 2.13 El foco y la mesa de ensayos, a la izquierda de la foto. A la derecha, el atenuador totalmente abierto permite el paso de los rayos procedentes de los helióstatos, situados en el exterior

2.5.5 Mesa de Ensayos

Es un soporte móvil situado bajo el foco del concentrador. Tiene movimiento en tres ejes (X,Y,Z) perpendiculares entre si, y sirve para posicionar con gran precisión en el área focal las probetas a ensayar.

2.5.6 Distribucion de la Densidad de Flujo en el Foco

La distribución de la densidad de flujo en el foco es el elemento que caracteriza a un horno solar. Esta distribución suele tener geometría gaussiana y para su caracterización se emplea una cámara CCD conectada a un procesador de imágenes, y un blanco lambertiano. Las características del foco para el 100% de apertura y una radiación solar de 1000 W/m² son: Pico de flujo: 3000 kW/m², potencia total: 58 kW y diámetro del foco: 23 cm [Neumann, 1994].

2.6 Instalaciones para Aplicaciones de Fotoquímica Solar

La configuración actual de la planta piloto para fotoquímica basada en captadores tipo CCP (Colectores cilindro-parabólicos) está compuesta por 4 colectores solares (128 m^2) del tipo cilindro-parabólico con seguimiento solar en dos ejes. El factor de concentración que se alcanza en ellos es de 10.5 soles. El tubo absorbedor es de vidrio borosilicatado de 56 mm. de diámetro y 2 mm de espesor.

En la PSA hay instaladas varias plantas empleando CPCs (captores cilindroparabólico compuestos). La más antigua (1994) consta de tres módulos cada uno con una superficie de 3 m^2 con una inclinación sobre la horizontal de 37° . El volumen total del sistema es de aproximadamente 250 L y el del tubo absorbedor es de 108 L (volumen iluminado). En 2002 se instaló un nuevo captador de 15 m^2 que permite realizar experimentos

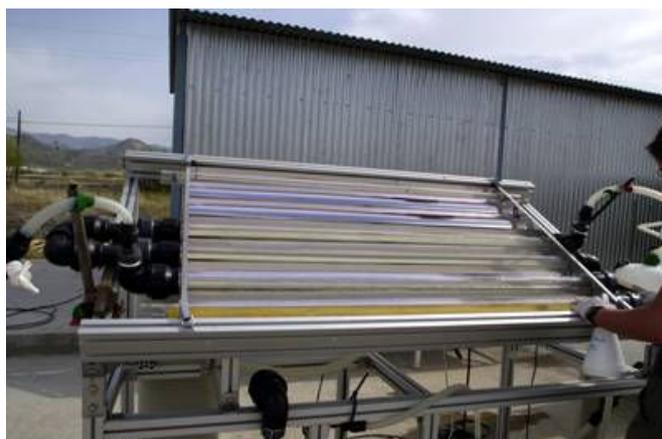


Figura 2.14 Vista parcial de las instalaciones para aplicaciones de Fotoquímica Solar. Parte delantera de prototipo de colector solar CPC utilizado para aplicaciones de desinfección de aguas.

con hasta 300 L. Además, se dispone de 2 pequeños prototipos gemelos para realizar experiencias en paralelo: 3.08 m^2 y 40 L, de los cuales 22 L es el volumen total irradiado. Desde 2004 se cuenta con un nuevo CPC (con diámetro de fotoreactor de 50 mm, más adecuado para aplicaciones de foto-Fenton) con su correspondiente tanque y bomba de recirculación (75 L), y además acoplado con él se ha instalado un reactor biológico (150 L, basado en biomasa fijada sobre matriz inerte) y un sistema de ozonización (50 L, con un sistema de producción de ozono de hasta $15 \text{ g O}_3/\text{h}$). Todo ello monitorizado (pH, T, ORP, O_2 , caudal, H_2O_2 , O_3) y controlado (pH, T, caudal) por un ordenador. Además, se cuenta también con varios prototipos para aplicaciones de desinfección de aguas (Figura 2.14). También se dispone de 3 sensores de medición de radiación ultravioleta solar, uno de directa con unidad de seguimiento solar y 2 de global en posición horizontal e inclinada 37° (el mismo ángulo que los CPCs) con respecto a la superficie terrestre. Todos los datos son enviados a un ordenador que los almacena para la posterior evaluación de los resultados.

2.7 Laboratorio de Análisis de la PSA

El laboratorio de Química Solar de la PSA es un edificio de unos 75 m^2 diseñado para contener todos los dispositivos relacionados con un laboratorio de química convencional: mesas de trabajo, campana extractora de gases, almacén de productos químicos en pequeñas cantidades, central distribuidora de gases técnicos, sistema de tensión segura, sistemas de seguridad (extintores,

ducha, lavaojos etc.), bancada para balanzas de precisión, sistema de ultra-purificación de agua, baño de ultrasonidos, baño termoestático, centrífuga y microcentrífuga, sistema de destilación a vacío, autoclave, 2 campanas de flujo laminar, incubador para microbiología así como muchos otros sistemas de uso normal en un laboratorio de química. Para el análisis de muestras microbiológicas existe un microscopio óptico de contraste de fases con fluorescencia acoplado a un sistema de fotografía digital. Además, se dispone de los siguientes equipos analíticos, todos ellos relacionados con la Química Ambiental: Cromatógrafo de Líquidos (Bomba cuaternaria con detector de diodos, inyector automático, kit de utilización simultánea de dos columnas cromatográficas y colector de fracciones), Cromatógrafo de Gases (espectrómetro de masas) con Sistema de Purga y Trampa (análisis de volátiles disueltos en agua), Cromatógrafo Iónico configurado para analizar aniones en isocrático, Cromatógrafo Iónico configurado para analizar aniones y cationes en gradiente, Analizador de COT (con inyector automático), Espectrofotómetro UV-Visible, Turbidímetro, DQO, DBO, titrador automático. Todos estos sistemas están informatizados mediante una completa red de ordenadores. Durante 2006 se ha procedido a la adquisición e instalación de un Microscopio Electrónico de Barrido (SEM, scanning electron microscopy) para el análisis de muestras microbiológicas y de catalizadores procedentes de los ensayos de desinfección solar. Para la preparación de dichas muestras, además se ha instalado un equipo de recubrimiento metálico y otro de secado en punto crítico. Todos ellos se encuentran ubicados en el edificio Técnico de la Plataforma Solar de Almería.

2.8 Planta SOL-14 de desalación de agua de mar con energía solar térmica

Esta instalación está constituida por los siguientes subsistemas:

- Una planta de destilación multiefecto (MED) de 14 etapas.
- Un campo de captadores solares estáticos de tipo CPC (concentrador parabólico compuesto).
- Un sistema de almacenamiento térmico basado en agua.
- Una bomba de calor por absorción (LiBr-H₂O) de doble efecto.
- Una caldera de gas pirotubular.

La unidad de destilación multiefecto está constituida por 14 etapas o efectos, en disposición vertical y con alimentación directa del agua de mar en la primera celda. Para una alimentación nominal de 8 m³/h, la producción de agua destilada se sitúa en 3 m³/h, y el consumo térmico de la planta es de 190 kW_t, con un factor de rendimiento (número de kg de destilado producidos por cada 2.326 kJ de energía térmica consumida) mayor de 9. La concentración salina del destilado se sitúa en torno a 5 ppm. El gradiente nominal de temperatura entre la primera etapa y la última es de 40°C, con una temperatura máxima de operación de 70°C en la primera celda.

El sistema opera con agua como fluido caloportador, la cual es calentada a su paso por los captadores solares y transportada al sistema de almacenamiento. El agua caliente procedente de dicho sistema de almacenamiento proporciona a la planta MED la energía térmica necesaria para su funcionamiento. El campo solar está compuesto por 252 captadores solares estáticos (CPC Ao Sol 1.12x) con una superficie total de 500 m², dispuestos en cuatro filas de 63 captadores. La temperatura máxima de trabajo es de 100°C ya que los captadores se encuentran conectados con los tanques de almacenamiento en circuito abierto, y éstos últimos se encuentran a presión atmosférica. El sistema de almacenamiento térmico está constituido por dos tanques de agua interco-

nectados entre sí con una capacidad total de 24 m³. Este volumen permite la autonomía de operación suficiente para que el sistema de respaldo pueda alcanzar las condiciones nominales de operación.

La bomba de calor por absorción (LiBr-H₂O) de doble efecto está interconectada con el último efecto de la planta MED. El vapor saturado de baja presión (35°C, 56 mbar) producido en dicha celda alimenta energéticamente al evaporador de la bomba de calor, una energía que de otra forma sería desechada al medioambiente. El resultado final es que se consigue reducir en la mitad el consumo de energía térmica requerido por el proceso de destilación multiefecto convencional. El sistema fósil de respaldo está integrado por una caldera de gas propano de tipo pirotubular con una capacidad máxima de producción de 200 kg/h de vapor saturado a una presión de 10 bar. Dicha caldera permite garantizar las condiciones de operación de la bomba de calor (180°C, 10 bar) así como la operación de la planta MED en ausencia de radiación solar.

2.9 Plataforma de Ensayo de Captadores Solares Estáticos

Esta instalación fue construida durante el año 2002 con objeto de ofrecer servicios adicionales a la comunidad científica investigadora, entre los que destaca la posibilidad de poder llevar a cabo la caracterización energética de captadores solares estáticos, con un énfasis especial en su posible aplicación en procesos de desalación solar.

La instalación cuenta con tres circuitos hidráulicos independientes. En el circuito primario el fluido (agua o mezcla de agua con anticongelante) es calentado a su paso a través del captador solar entregando la energía adquirida al agua depositada en un tanque de almacenamiento. En el circuito secundario, el agua procedente del tanque es bombeada hacia un intercambiador de calor con objeto de transferir su energía al circuito terciario. Este intercambiador de calor simularía la introducción de agua caliente en la primera celda de una planta de destilación multi-efecto. Finalmente, el agua que circula por el circuito terciario es impulsada hacia una torre de refrigeración donde la energía adquirida procedente del circuito secundario es disipada hacia el ambiente.



Figura 2.15 Campo de captadores solares estáticos (500 m²) de la planta SOL-14

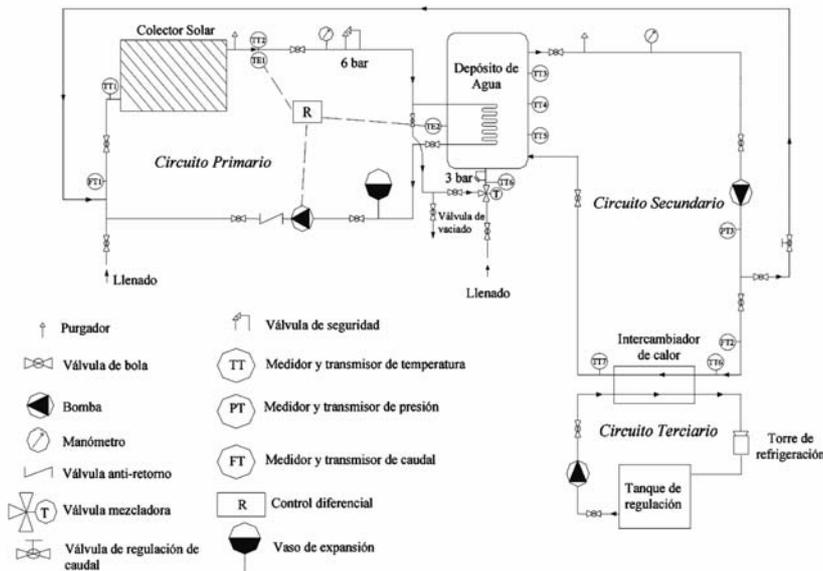


Figura 2.16 Esquema general de la plataforma de ensayo de captadores solares estáticos

2.10 Otras Instalaciones

2.10.1 Estación Meteorológica de la PSA

Desde 1988, la PSA cuenta con una estación meteorológica centrada en la medida de la radiación solar integrada (radiación global, directa y difusa) así como otras variables meteorológicas genéricas (temperatura, velocidad y dirección de viento, humedad y presión atmosférica, precipitación acumulada...). En los últimos años, la PSA ha acometido la tarea de mejorar los servicios suministrados por la antigua estación, instalando una nueva estación radiométrica cumpliendo los más estrictos requisitos de calidad y precisión en la medida de la radiación solar. La configuración de la nueva estación se ha hecho siguiendo las directrices de la Organización Meteorológica Mundial en el marco de la red: Baseline Surface Radiation Network, a la que pertenece de pleno derecho desde octubre de 2005.



Figura 2.17 Visión global de la nueva estación radiométrica de la PSA

Además de las medidas de las variables meteorológicas mencionadas, como característica destacable, cabe mencionar la medida de la distribución espectral de la radiación solar.

Los equipos de la estación radiométrica constan de tres partes fundamentales:

- 1) **Los instrumentos de medida.** Los instrumentos de medida de la estación meteorológica de la PSA son instrumentos de la más alta gama dentro de la medida de la radiación solar. Todos los sensores de radiación están ventilados y calefactados, así como disponen adicionalmente de la medida de la temperatura del sensor. Estos equipos permiten tener una muy buena información de la radiación solar y de las variables atmosféricas más generales. Los valores registrados en esta estación pueden ser utilizados como una referencia de calidad en el análisis y/o validación de modelos meteorológicos o medioambientales. Dentro de los instrumentos diferenciamos entre los destinados a:
 - Medida del balance radiativo terrestre. Se miden las radiaciones entrantes y salientes (a 30 m) de onda larga y corta.
 - Caracterización de la radiación solar: componentes (directa y difusa) y UV.
 - Medida del perfil vertical del viento: se miden la velocidad y dirección de viento a 2, 10 y 30 m.
 - Medida del perfil vertical de temperatura y humedad: a 2 y 10 m.
 - Información meteorológica varia: pluviómetro, barómetro y psicrómetro.
- 2) **El espectrorradiómetro**, que por su distinta naturaleza debe de ser considerado como un sensor independiente. Se trata de un prototipo desarrollado por Instrument System bajo especificaciones del CIEMAT. Este equipo, basado en el SP320D, que incorpora un fotomultiplicador y un detector de sulfuro de plomo, registra la distribución espectral de la radiación solar en todo su rango espectral (de 200 a 2500 nm), frente a la mayoría de los equipos que trabajan únicamente en una parte del espectro (generalmente el visible o el ultravioleta). Al equipo base, se le ha acoplado un intercambiador de manera que puede trabajar con tres sondas alternativamente, las cuales se han dispuesto en un seguidor solar para registrar la radiación solar global, directa y difusa respectivamente. Aunque es configurable, el equipo se ha programado de manera que registra un espectro (con una resolución aproximada de 2 nm en el UV y visible y de 10 nm en el IR) en unos 7 minutos, y cada 10 minutos cambia de sonda de medida. De esta manera se dispone de una base de datos de 2 espectros de cada una de las variables de la radiación solar



Figura 2.18 Sondas del espectrorradiómetro para medida de la radiación global y difusa dispuestas en el seguidor solar



Figura 2.19 Detector del espectrorradiómetro con el switcher de conexión de las tres sondas

cada hora. Este equipo opera de manera continua desde la salida hasta la puesta de sol, lo cual es otra diferencia importante frente a las usuales campañas de medida de la distribución espectral de la radiación solar.

- 3) **El sistema de adquisición de datos.** Se trata de un sistema desarrollado específicamente en Visual C++ utilizando tarjetas IMP. La frecuencia de adquisición de datos es de 1 sg. promediando al minuto, a la hora y diariamente. Los datos se almacenan en un sistema de gestión de base de datos relacional que se describe a continuación y durante la adquisición se aplican entre otros una serie de filtros físicos. Cabe destacar el hecho de que este sistema de adquisición de datos está conectado a un GPS que actúa como servidor de tiempo de alta precisión.

<http://www.psa.es>



Figura 2.20 Acceso y registro de usuarios a la información de radiación solar.

La base de datos. Está desarrollada en Microsoft SQL Server 2000 y se han desarrollado herramientas de consulta en ASP para poder explotarla al través de Internet. Las tablas de esta base de datos se crean dinámicamente, por lo que es posible dar de alta y de baja sensores en la estación sin necesidad de modificar la estructura de la misma. El tamaño de la base de datos se ha estudiado para poder tener acceso simultáneo a 10 años de datos al minuto y promediados de todas las variables registradas. Actualmente, se accede a la información a través de la página web de la PSA. Para el acceso es preciso registrarse con la finalidad de conocer la demanda de información.

2.10.2 El laboratorio de calibración espectral

La necesidad del laboratorio de calibración surge de la manera con la que se ha diseñado la operación del espectrorradiómetro. Estos equipos suelen trabajar en campañas de medida específicas, y en este caso se recomienda su recalibración anual. En nuestro caso, dado que queremos que el equipo opere de manera continua, se hacía preciso la calibración in situ, para:

- Minimizar las pérdidas de datos por los periodos de calibración (en torno a 1 mes si hay que mandar el equipo al fabricante).
- Poder aumentar las calibraciones según se estime conveniente: semestral, trimestral, mensualmente o semanalmente.

El laboratorio de calibración ha sido especialmente diseñado para permitir la calibración en todo el rango de 200 a 2500 nm.



Figura 2.21 Ubicación del Laboratorio de Calibración Espectral.

2.10.3 Laboratorio de Ensayos Energéticos para Componentes de la Edificación (LECE)

El Laboratorio de Ensayos Energéticos para Componentes de la Edificación (LECE) es otra de las instalaciones que se encuentran en la PSA. Este laboratorio está integrado y gestionado directamente por programa de I+D Arquitectura Bioclimática del Departamento de Energías Renovables de CIEMAT y forma parte de la red de interés económico PASLINK EEIG que integra a laboratorios europeos con las mismas características. El Laboratorio consta de cuatro células de ensayo con instrumentación completa para el ensayo de componentes convencionales y solares pasivos del edificio, y además hace uso de las infraestructuras y excelentes condiciones de la PSA para aplicaciones solares.

El objeto de la instalación LECE es contribuir a la mejora de conocimiento sobre la calidad energética de elementos de la edificación llevando a cabo experimentos para determinar sus propiedades térmicas de cerramientos tales como el coeficiente global de transferencia de calor, el factor de ganancia solar o los tiempos de respuesta del sistema. Además se desarrollan otro tipo de ensayos entre los que deben citarse, por su importancia respecto a las condiciones climáticas en España, los referentes a fenómenos de ventilación. El conocimiento de esas propiedades sirve para mejorar el diseño de edificios con vistas a aumentar su ahorro energético sin pérdida de confort y para predecir el comportamiento térmico de los mismos.

Las actividades llevadas a cabo en LECE se pueden clasificar en:



Figura 2.22 Vistas del LECE: Células, edificios referencia y chimenea solar

Apoyo experimental a la elaboración de normas y reglamentaciones.

Actividades experimentales propias del programa I+D sobre Arquitectura Bioclimática de CIEMAT.

Colaboración y servicio a los fabricantes de materiales y componentes para la edificación.

3 Unidad de Sistemas de Concentración Solar

Responsable: Eduardo Zarza Moya*
eduardo.zarza@psa.es

Contribuciones: Félix Téllez Sufrategui
felix.tellez@ciemat.es

Manuel Romero Álvarez
manuel.romero@ciemat.es

3.1 Introducción

El objetivo de la Unidad de Sistemas de Concentración Solar (USCS) es promover y contribuir al desarrollo de los sistemas de aprovechamiento de la radiación solar concentrada, tanto para la generación de electricidad como para la aplicación a procesos industriales que requieren concentración solar, independientemente de si es para producir medias temperaturas, altas temperaturas o altos flujos fotónicos.

Esta Unidad está constituida por tres Grupos de I+D:

- Grupo de Media Concentración,
- Grupo de Alta Concentración, y
- El Grupo de Combustibles Solares/Solarización de Procesos Industriales

Las actividades llevadas a cabo dentro de la USCS en el año 2006 han seguido las cuatro líneas maestras que tiene definidas como objetivos:

- desarrollo de nuevos componentes para sistemas de concentración solar, con una mejor relación calidad/precio,
- desarrollo de herramientas de simulación y caracterización para este tipo de sistemas solares,
- impulsar y promover actuaciones de vanguardia en relación con las tecnologías solares de concentración, de modo que se tengan abiertos caminos de mejora tecnológica a medio y largo plazo, y

* Plataforma Solar de Almería, Apartado de correos 22; 04200-Tabernas (Almería)
E-mail: eduardo.zarza@psa.es

- facilitar el desarrollo y consolidación de una industria nacional propia especializada en sistemas de concentración solar, mediante el asesoramiento técnico-científico y la transferencia de tecnología.

En relación con este último objetivo, cabe destacar el Curso intensivo sobre "Sistemas Solares de Concentración" impartido entre los días 2 y 11 de octubre de 2006 en Madrid, que contó con una nutrida participación desde todos los sectores (ingenierías, promotores, fabricantes de equipos y Centros de investigación) involucrados en el desarrollo tecnológico y comercial de las plantas solares termoeléctricas. Este curso supuso un gran esfuerzo por parte de todos los miembros de la USCS y ha permitido elaborar por primera vez un compendio de textos que abarcan los diversos aspectos de los sistemas solares de concentración (diseño, desarrollo de componentes, operación y mantenimiento, sistemas de almacenamiento, perspectivas de futuro, etc.). Este compendio de textos viene a cubrir, al menos en una parte importante, la falta de una referencia bibliográfica que abarque todos los aspectos relacionados con los sistemas solares de concentración.

Los capítulos siguientes resumen las actividades y logros más importantes conseguidos dentro de los tres Grupos de I+D que integran las Unidad de Sistemas de Concentración Solar. Como puede verse, se ha participado en un elevado número de proyectos, los cuales abarcan todos los campos de los sistemas de concentración solar.

3.2 Grupo de Media Concentración

Las actividades llevadas a cabo por el Grupo de Media Concentración en el año 2006 pueden clasificarse en dos categorías principales:

- a) actividades relacionadas directamente con la tecnología GDV (Generación Directa de Vapor), y
- b) actividades destinadas al desarrollo de nuevos componentes (recubrimientos selectivos y tratamientos antireflectantes), nuevos diseños de colectores cilindro parabólicos y al estudio de conceptos innovadores, tanto a nivel de fluidos de trabajo, como de la planta solar en general.

También hay que mencionar las actividades de apoyo y asesoramiento a las múltiples empresas que durante el año 2006 han acudido a la PSA interesándose por las plantas solares termoeléctricas con colectores cilindro parabólicos. En este tema se ha realizado un gran esfuerzo por dar, a cuantas empresas nos lo han solicitado, la información técnica básica que requerían para evaluar internamente el interés comercial que pueden tener para ellas las plantas solares termoeléctricas, a la luz del marco legal actual y de las tecnologías disponibles. No obstante, debido a la lógica limitación de recursos internos del Grupo, no se han podido atender todas las solicitudes recibidas.

Uno de los hechos más alentadores para este Grupo en el año 2006 ha sido el interés comercial que diversas empresas han mostrado por algunos de los desarrollos obtenidos como fruto del trabajo llevado a cabo en la PSA durante los últimos años en relación con la tecnología de colectores cilindro parabólicos. Este interés ha puesto de manifiesto el acierto que tuvo la PSA hace algunos años cuando decidió apostar internamente por desarrollos con perspectivas de futuro, aunque en el momento de tomar dicha decisión no existía una demanda comercial para los mismos. Gracias a esa apuesta de futuro, la PSA dispone hoy en día de recubrimientos selectivos, tratamientos anti-reflexivos y sistemas de seguimiento solar (estos últimos desarrollados en colaboración con la Oficina Técnica de la PSA) que están a la altura de los mejores del mercado.

A continuación se resumen las actividades y logros alcanzados en el año 2006 dentro de los diversos proyectos en los que el Grupo de Media Concentración de la Unidad de Sistemas de Concentración Solar de la PSA ha trabajado.

3.2.1 DISTOR

Energy Storage for Direct Steam Solar Power Plants

Participants: DLR (Alemania), CIEMAT-PSA (E), Sistemas de Calor (E), INASMET (E), IBERINCO (E), DEFY Systemes (F), EPSILON Ingénierie (F), SGL Technologies GMBH (D), FLAGSOL GMBH (D), Solucar (E), ZSW (D), Weizmann Institute of Science (IL), y el Central Laboratory of Solar Energy and New Energy Sources (BLG).

Contacto: Javier León, Javier.leon@psa.es

Presupuesto total: 3 036 650 €. Proyecto financiado parcialmente por la CE (contrato SES6-CT-2004-503526)

Duración: Febrero, 2004 - Septiembre, 2007

Motivación: la generación directa de vapor en los propios tubos absorbedores de los colectores cilindro parabólicos es una opción muy atractiva para reducir el coste de la energía producida por este tipo de captadores solares. Para que las plantas solares termo-eléctricas sean más atractivas comercialmente es necesario dotarlas con sistemas de almacenamiento que permitan desvincular la producción de energía eléctrica de las horas de Sol. Los sistemas de almacenamiento térmico actualmente disponibles para plantas solares termoeléctricas se basan en materiales que aumentan su temperatura (calor sensible) y no son válidos para los sistemas solares con generación directa de vapor. De aquí nace precisamente la necesidad de desarrollar un sistema de almacenamiento térmico específico para campos solares con generación directa de vapor.

Objetivos: el desarrollo de un sistema de almacenamiento térmico competitivo y adecuado para plantas solares que funcionen con generación directa de vapor en colectores cilindro parabólicos. Puesto que la mayor parte de la energía térmica que posee el vapor se libera al condensar, y este es un proceso que tiene lugar a temperatura constante, el sistema de almacenamiento adecuado para este tipo de plantas solares debe basarse en un medio que sea capaz de absorber calor a temperatura constante. Esto conduce a la necesidad de disponer de un sistema de almacenamiento térmico basado en calor latente, mediante materiales que cambien de fase. Se estudiarán diversas opciones posibles para un sistema de almacenamiento mediante cambio de fase y una vez seleccionada la mejor opción, se construirá un prototipo de módulo de almacenamiento, de 100 kWt de potencia nominal y de 200 kWh de capacidad. Dicho módulo será instalado y evaluado en la PSA en el año 2007.

Logros en 2006: en el año 2006 se revisó y modificó el esquema de la interfase que es necesario instalar en la PSA para poder conectar a la planta DISS el prototipo de modulo de almacenamiento mediante cambio de fase que se va a diseñar y construir dentro del proyecto. La figura siguiente muestra el diseño final de la interfase, la cual permitirá realizar ensayos de carga y descarga del modulo de almacenamiento (indicado con las siglas TES en la figura).

Aunque el prototipo de almacenamiento que se instalará y evaluará en el año 2007 funcionará a una presión de 40bar, la interfase y su instrumentación

asociada han sido diseñadas para poder trabajar a presiones de hasta 100bar. Esto hará posible la evaluación futura de módulos de almacenamiento diseñados para mayores temperaturas de operación (hasta 310°C).

En Julio de 2006 se firmó un Acuerdo de Colaboración con la Universidad de Málaga para el desarrollo del software del sistema de adquisición de datos y regulación correspondiente a esta instalación de ensayos. El software desarrollado permitirá el acceso on-line en tiempo real a los datos de los ensayos mediante internet, por lo que estos podrán ser evaluados rápidamente por los demás socios del proyecto sin necesidad de que estén físicamente en la PSA.

Uno de los problemas detectados en el año 2006 dentro del proyecto DISTOR fue la necesidad de instalar un condensador de vapor a la salida del módulo de almacenamiento para poder realizar un balance de energía correcto en dicho modulo durante los procesos de carga y descarga. La necesidad de dicho condensador estriba en que durante el proceso de descarga puede ocurrir que el vapor salga del módulo sin condensar completamente, lo que haría imposible poder conocer su entalpía específica y cerrar el balance de energía en el módulo. Durante el año 2006 se diseñó, construyó e instaló en la PSA el condensador de vapor mencionado, y se compró la mayor parte de la instrumentación y de los materiales necesarios para construir la interfase mostrada en la figura adjunta.

También se desarrolló la mayor parte del software para el sistema de adquisición de datos y la monitorización de los ensayos, definiéndose los niveles de alarma para las diversos parámetros monitorizados (temperatura, caudal y presiones).

Debido a las peculiares características del módulo de almacenamiento que se va a construir para ser evaluado en la PSA, su diseño y construcción sufrieron un retraso en el año 2006, el cual provocó también un pequeño retraso en el diseño final de la interfase y en su construcción. No obstante, dicho retraso no supone riesgo serio para poder completar las actividades previstas en el proyecto antes de su finalización en septiembre de 2007.

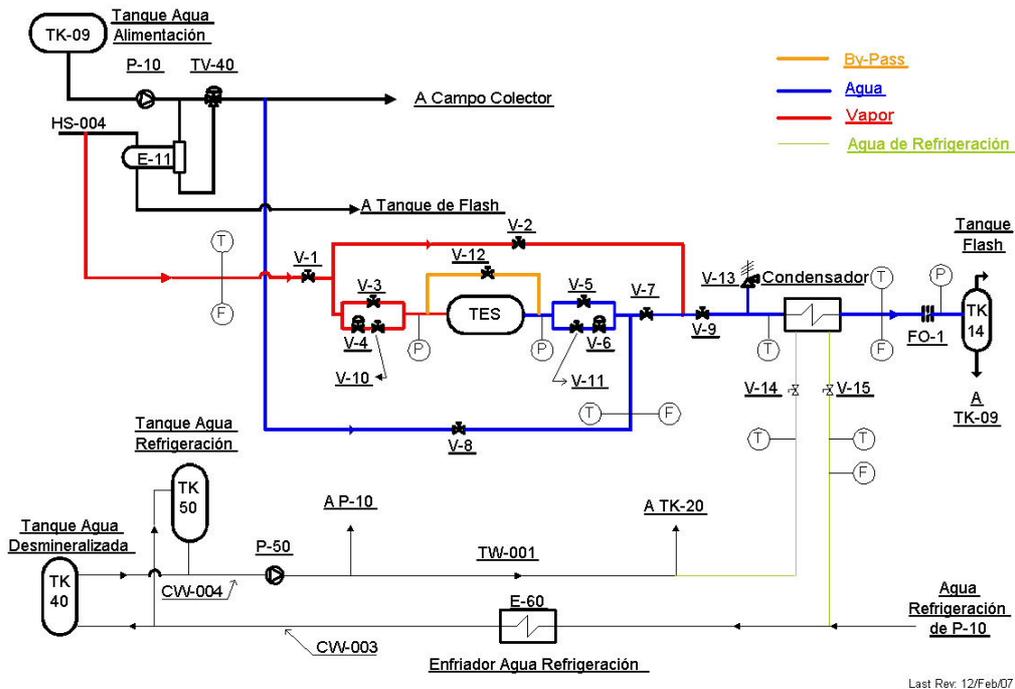


Figura 3.1 Diagrama esquemático de la interfase diseñada para conectar el módulo de almacenamiento DISTOR a la planta experimental DISS de la PSA.

3.2.2 Almería GDV:

Planta solar termoeléctrica pre-comercial con Generación Directa de Vapor

Participantes: IBERDROLA, SOLUCAR, SENER, IDAE y CIEMAT-PSA

Contacto: Eduardo Zarza, eduardo.zarza@psa.es

Presupuesto total: 18 000 000 €.

Duración: Enero 2006 – Diciembre 2008

Motivación: Los resultados experimentales obtenidos en la PSA durante el proyecto DISS (1996-2001) e INDITEP (2002-2005) pusieron de manifiesto la viabilidad técnica de la generación directa de vapor en los tubos absorbedores de colectores cilindro parabólicos horizontales, proceso conocido mediante las siglas GDV. No obstante, los resultados obtenidos en la planta experimental GDV construida en la PSA para el proyecto DISS no bastan para asegurar la viabilidad técnica y comercial de plantas GDV de gran tamaño, ya que la planta existente en la PSA está formada por solo una fila de colectores y no dispone de un turbo-grupo que convierta en electricidad vapor producido en el campo solar. Por consiguiente, resulta necesario construir una planta GDV compuesta por varias filas paralelas de colectores cilindro parabólicos, con el fin de comprobar experimentalmente si el proceso GDV resulta viable a escala comercial.

Objetivos: el objetivo de este proyecto es la construcción de una planta GDV de tamaño pre-comercial, compuesta por varias filas paralelas de colectores cilindro parabólicos conectadas a un bloque de potencia en el que el vapor suministrado por el campo solar se convierta en electricidad mediante una turbina de vapor acoplada a un generador eléctrico. Dicha planta permitirá estudiar la interacción entre las filas paralelas de colectores, así como los procesos óptimos de arranque y parada para grandes plantas GDV comerciales. La construcción de la planta GDV propuesta en este proyecto resulta necesaria antes de poder abordar con seguridad la implantación de grandes plantas GDV comerciales.

Logros en el 2006: durante el año 2006 se ha consolidado el consorcio español que acometerá la construcción y evaluación de la planta GDV propuesta en este proyecto. Durante la primera mitad del año se realizó un plan de negocio para la planta GDV de 5 MWe que fue diseñada dentro del proyecto INDITEP. Debido a las características peculiares de esta planta (pequeño tamaño, tecnología innovadora, etc.) el estudio realizado mostró que la construcción de una planta GDV de solo 5 MWe no resulta rentable desde un punto de vista meramente comercial, debido a su pequeño tamaño y a sus altos costes de operación y mantenimiento. Esto llevó a reducir el tamaño de la planta hasta una potencia de 3 MWe, de modo que aunque dicha planta tampoco resulte económicamente atractiva, se reduce de forma importante la inversión requerida y el esfuerzo económico de los socios, sin merma de la validez de los resultados que en ella se obtengan en relación con la operación de grandes plantas GDV comerciales. Así pues, se decidió a finales de 2006 reducir el tamaño de la planta desde 5 MWe hasta 3 MWe y se preparó un Plan de Negocio preliminar para dicha planta. A la vista del resultado de dicho estudio se decidió finalmente acometer la construcción y evaluación de dicha planta, con un presupuesto de 18 millones de Euros.

El lugar elegido para la construcción de la planta GDV de 3 MWe es la PSA, en el lado Este de su parcela actual. Se realizó un estudio topográfico del te-

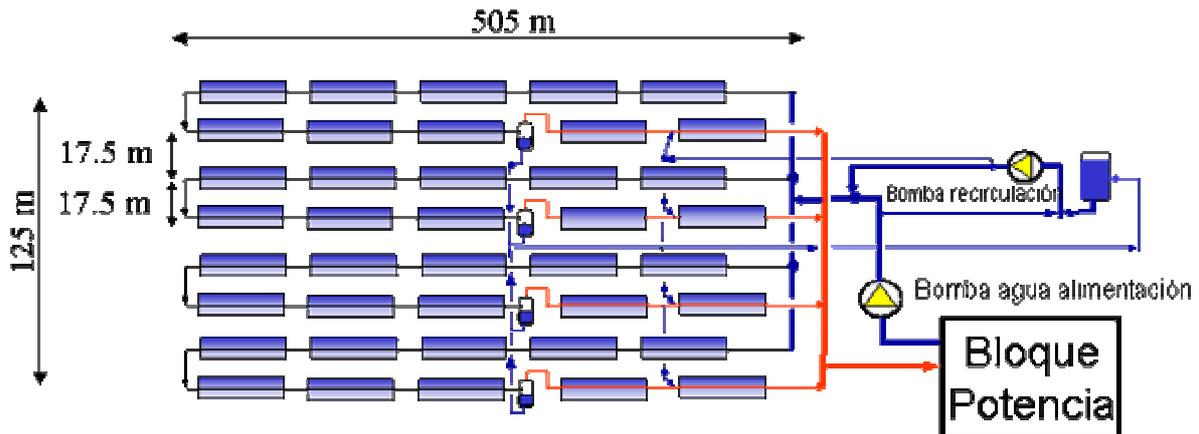


Figura 3.2 Diagrama esquemático de la planta Almería GDV de 3 MW_e.

rreno y se rediseñó el campo solar para una potencia de 3 MW_e. La figura siguiente muestra el esquema simplificado de la planta GDV que finalmente se ha decidido construir. El campo solar está formado por cuatro filas paralelas de colectores cilindro parabólicos del tipo ET-100, con algunas mejoras introducidas en la PSA al diseño original de dicho colector. Cada fila consta de diez colectores ET-100 conectados en serie y llevará un separador agua-vapor al final de su sección de evaporación, y un atemperador del vapor a la entrada del último colector.

Con el fin de conseguir la ayuda financiera que haga posible la construcción de esta planta GDV, durante el año 2006 se realizaron numerosos contactos con entidades públicas españolas del sector I+D+i, tanto a nivel autonómico como del gobierno central. Teniendo en cuenta que España se encuentra actualmente a la vanguardia de la tecnología de generación directa de vapor, la construcción de la planta GDV propuesta posee un gran interés desde el punto de vista tecnológico y comercial, ya que representa el paso imprescindible para poder determinar con certeza la viabilidad comercial de esta tecnología que se considera una prometedora vía que permitiría reducir de forma importante el coste de la electricidad producida por plantas solares termo-eléctricas con colectores cilindro parabólicos.

Aunque su rendimiento es modesto, el bloque de potencia seleccionado para esta planta posee una gran robustez y sencillez de operación. Puesto que se trata de una planta que debe permitir una gran flexibilidad de operación para investigar diversos procedimientos de arranque y parada, a la vez que probar diversas estrategias de control, se ha primado la robustez frente a su eficiencia.

Entre los temas que serán investigados en esta planta, aparte de los procedimientos de arranque y parada, se pueden citar los siguientes:

- procedimientos de control y regulación para la presión y temperatura del vapor sobrecalentado producido por el campo solar
- evaluación del comportamiento bajo condiciones reales de operación de componentes esenciales (juntas rotativas, separadores agua/vapor, atemperadores y tubos absorbedores de alta presión)
- enclavamientos de seguridad requeridos para garantizar una operación adecuada de la planta ante situaciones de emergencia y de transitorios de radiación solar.

3.2.3 Tubos Absorbedores de Bajo Coste

Participantes: CIEMAT-PSA, Solucar

Contacto: Angel Morales, angel.morales@ciemat.es

Presupuesto total: 750.000 €.

Duración: Diciembre, 2004 - Noviembre, 2007

Motivación: Uno de los elementos más importantes de los colectores cilindro parabólicos son los tubos absorbedores, ya que en ellos es donde la radiación solar concentrada es convertida en energía térmica. Debido a su alta carga tecnológica, actualmente solo existen en el mercado dos tubos absorbedores de vacío para este tipo de captadores solares, los fabricados por las empresas Schott y Solel. Debido a la escasa oferta existente, tanto el precio como el plazo de entrega de estos tubos resulta actualmente una seria barrera para el rápido desarrollo comercial de las plantas solares termoeléctricas con colectores cilindro parabólicos. Por consiguiente, el desarrollo de nuevos tubos absorbedores que posean una buena relación calidad/precio resulta muy atractiva e interesante. Por su parte, el CIEMAT lleva varios años trabajando en el desarrollo de nuevos recubrimientos anti-reflexivos (AR) y selectivos adecuados para su uso en este tipo de tubos absorbedores, habiendo realizado ya diversas patentes relacionadas con este tema.

Objetivos: el desarrollo de nuevos tubos absorbedores para colectores cilindro parabólicos, tanto sin vacío (para temperaturas de trabajo moderadas), como con vacío (para plantas solares termo-eléctricas). Se desea que los nuevos tubos absorbedores estén basados en la tecnología Solgel desarrollada por el CIEMAT en relación con recubrimientos selectivos y antireflexivos (AR).

Logros en 2006: Las actividades y logros en el año 2006 dentro de este proyecto son descritas a continuación clasificadas en las dos áreas de actividad que comprenden: películas AR para vidrio y absorbentes selectivos.

Películas AR para cubiertas de vidrio

Durante el año 2006 se ha trabajado en mejorar la durabilidad de las películas antirreflectantes de SiO_2 desarrolladas anteriormente para su aplicación en cubiertas de vidrio de dispositivos solares. Los problemas de durabilidad a intemperie de este tipo de recubrimientos están asociados prácticamente en su totalidad a la adsorción de agua en los poros hidrofílicos de la superficie, lo que aumenta el índice de refracción de los mismos, degradando sus propiedades antirreflectantes. Para evitar este proceso y asegurar la durabilidad de las películas se ha desarrollado un método para reemplazar los grupos hidrofílicos -OH superficiales por grupos hidrófobos Si-CH_3 , lo que da lugar a películas hidrófobas que repelen el agua, y conservan unas excelentes propiedades ópticas.

Los estudios de envejecimiento acelerado realizados por la PSA en cámara climática demuestran la efectividad del proceso, obteniéndose variaciones en la transmitancia solar menores de 0.8% después de 1500 horas a 40°C y 100% humedad relativa. Sin embargo, las películas antirreflectantes sin el tratamiento hidrófobo experimentaban descensos de la transmitancia superiores al 3% después de 200 horas de ensayo.

Absorbente selectivo de alta temperatura.

En el año 2006 se han optimizado las propiedades ópticas y la durabilidad térmica del absorbente selectivo de alta temperatura. La absorptancia solar conseguida es de 0,96 y la emisividad térmica a 500°C es de 0,14.

Se realizaron los ensayos de durabilidad térmica del absorbente, depositado sobre acero inoxidable AISI 304, a 500°C en aire y tras dos meses en el horno no se ha producido ninguna degradación en las propiedades ópticas, ni en la adherencia de las capas.

Se está desarrollando el procedimiento preindustrial para la fabricación del absorbente y se ha observado que se consiguen mejores propiedades ópticas y mayor homogeneidad si las películas se secan a una determinada temperatura, durante uso segundos, mientras se extrae la muestra de la solución precursora.

Hasta el momento se han preparado muestras planas de un tamaño máximo de 100x100 mm, con excelente homogeneidad y propiedades ópticas. Durante el próximo año se preparará el recubrimiento absorbente sobre tubos de diferente diámetro y una longitud máxima de 500 mm.

Publicaciones: [3.1]

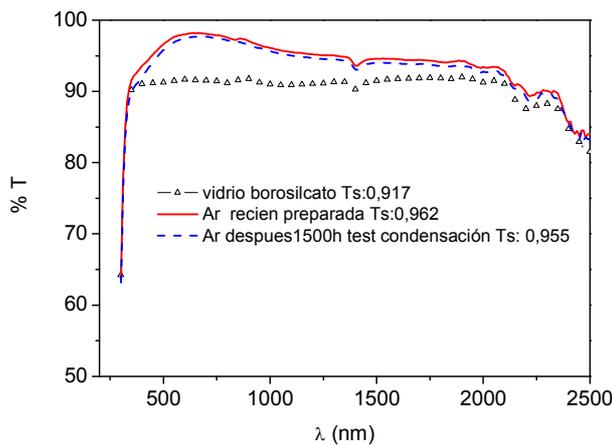


Figura 3.3 Transmitancia del vidrio sin y con película AR, antes y después de 1500 h en la cámara climática

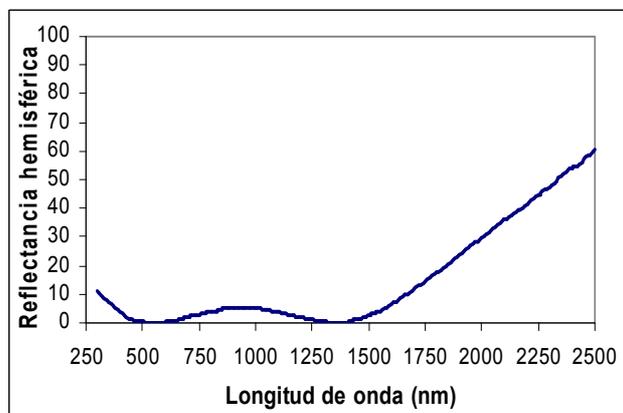


Figura 3.4 Reflectancia hemisférica del absorbente de alta temperatura

3.2.4 Recubrimientos Absorbentes Avanzados para Baja Temperatura

Participantes: CIEMAT-PSA, WAGNER Solar

Contacto: Angel Morales, angel.morales@ciemat.es

Presupuesto total: 161.500€.

Duración: Marzo, 2005 - Junio, 2008

Motivación: En la actualidad existe una gran variedad de colectores solares para agua caliente. Aunque poseen algunas características diferentes, todos tienen en común que su temperatura de trabajo es claramente inferior a 175°C. Los recubrimientos selectivos que suelen utilizar estos colectores en la actualidad son recubrimientos cuya fabricación resulta económica, aunque sus propiedades ópticas y térmicas no sean excelentes. Mejorar la calidad de estos recubrimientos y sus propiedades ópticas resulta muy interesante comercialmente si esto se consigue sin aumentar considerablemente el coste de fabricación. CIEMAT-PSA ha logrado una gran experiencia en el campo de los recubrimientos selectivos para absorbentes solares fabricados mediante la técnica del Sol-gel. Esta experiencia puede ser aplicada para el desarrollo de absorbentes solares que posean mejores propiedades que los actualmente utilizados en los colectores solares para baja temperatura, sin que su coste de fabricación sea prohibitivo. Los colectores solares que incorporen un mejor recubrimiento selectivo sin un incremento importante del coste tendrán, sin duda, un mejor posicionamiento en el mercado.

Objetivos: el desarrollo de un recubrimiento absorbente avanzado para colectores solares cuya temperatura de trabajo sea inferior a los 200°C. El proceso de fabricación de dicho absorbente debe estar basado en la técnica de Sol-gel y ser susceptible de ser implementado a escala industrial de modo que resulte competitivo con los recubrimientos actualmente disponibles para baja temperatura.

Logros en 2006: Aunque ya en el año 2005 se logró un recubrimiento avanzado de buenas características, su relación calidad/coste no parecía ser aún suficientemente buena como para ser aplicado comercialmente. Por este motivo, el trabajo llevado a cabo por CIEMAT-PSA en este proyecto en el año 2006 se ha centrado principalmente en mejorar las propiedades de este recubrimiento.

Se ha dedicado un gran esfuerzo en la optimización del proceso de depósito de la espinela de Cu y Mn que constituye la base del nuevo recubrimiento absorbente desarrollado por CIEMAT-PSA, de cara a su fabricación industrial. Se ha intentado mejorar la homogeneidad del recubrimiento para evitar la formación de poros. Para ello se ha optimizado el método de limpieza del substrato, así como la composición de las disoluciones. En concreto, se ha logrado optimizar la concentración de aditivos en las disoluciones.

En cuanto a la composición de las disoluciones utilizadas en el proceso de fabricación del nuevo recubrimiento, se ha visto que el aumento de la concentración de aditivos mejora la homogeneidad de las películas obtenidas porque se reduce la cantidad de poros que se forman indeseablemente. También se ha optimizado la solución precursora de la espinela de Cu y Mn para aumentar la velocidad de extracción hasta 45 cm/min y la de la capa antirreflectante de SiO₂ hasta 23 cm/min. Para estas condiciones de depósito se obtuvieron valores medios de absorptancia solar de 0.940 y de emitancia a 100°C en torno a 0.06-0.08.

Con el fin de evaluar la durabilidad del nuevo recubrimiento se han realizado ensayos de envejecimiento acelerado en cámara climática, siguiendo los procedimientos recogidos en: IEA Solar Heating and Cooling Program Task X (norma ISO/DIS 12952), los cuales incluyen temperatura (tratamiento térmico a 250°C durante 200 horas) y humedad (tratamiento en condensación a 40°C durante 600 h). Para ambos tipos de ensayo, las muestras de espinela de CuMn con capa AR que se han evaluado tuvieron un valor de PC (performance coefficient) inferior a 0.05 y por tanto fueron validadas según el criterio de la norma.

Publicaciones: [3.2-3.3]

3.2.5 FASOL

Diseño y desarrollo de un captador térmico cilindro parabólico para calor de proceso

Participantes: Ciemat y, de forma puntual, PYMES

Contacto: Esther Rojas, esther.rojas@ciemat.es

Financiación: 225 000

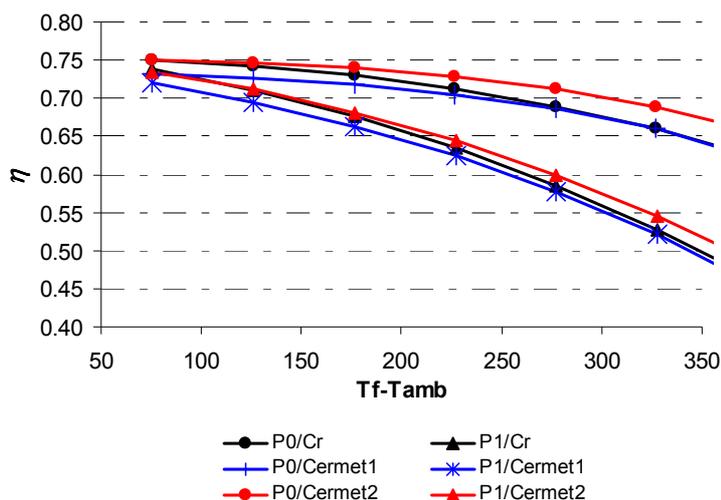
Antecedentes: Varios proyectos financiados por la Unión Europea (proyectos POSHIP, PROCESOL I y II) han mostrado el enorme potencial de aplicación de la energía solar térmica en procesos industriales en los que son necesarias temperaturas entre 60°C y 300°C. Este alto potencial no se ha desarrollado plenamente hasta el momento por varias razones, pero la fundamental para procesos por encima de los 120°C es la escasa –por no decir nula– existencia de captadores comerciales adecuados (adecuados en cuanto a prestaciones, rendimiento y coste). La apuesta internacional por la promoción de la energía solar térmica en la industria se evidencia por la puesta en marcha en 2004 de la Tarea 33/IV sobre *Calor solar para procesos industriales* en la Agencia Internacional de la Energía (AIE) y en la que el Ciemat participa activamente.

Objetivos: Desarrollo de un captador solar térmico integrable en procesos con un rango entre 120°C y 300°C de temperatura y con un ratio coste/eficiencia atractivo para la industria. Por similitud con los rangos de temperaturas necesarios este captador podrá ser acoplable no sólo a procesos industriales sino también a máquinas de absorción de doble efecto para climatización. Con el objetivo de materializar de forma efectiva la implementación del captador desarrollado en el proyecto se intenta involucrar a pymes, ya sea en la fase de desarrollo y diseño del captador propiamente dicha, ya sea en la construcción de una planta piloto experimental con dicho captador.

Actividad y resultados en 2006:

El modelo térmico teórico desarrollado previamente en la Unidad de Sistemas de Concentración Solar se ha mejorado incluyendo, de forma simplificada, la existencia de una cubierta plana de vidrio sobre el reflector parabólico. Este modelo, junto con el ya desarrollado en 2005 para el rendimiento óptico geométrico, permite la optimización de las características del captador en función del nivel de temperaturas requerido de acuerdo al criterio de máximo rendimiento energético (ver figura adjunta).

Se ha continuado con el estudio de materiales reflectores comerciales y de su estabilidad ante condiciones ambientales. Durante el primer trimestre de 2006 se continuó midiendo de forma periódica un reflector de película de aluminio sobre metacrilato, para el que ya se ha establecido una metodología simple de limpieza que le devuelve, prácticamente, a su valor nominal de re-



| | α_{solar} | ε |
|----------|-------------------------|---------------|
| Cr | 0.963 | 0.186 |
| Cermet 1 | 0.938 | 0.12/0.13 |
| Cermet 2 | 0.955 | 0.03/0.10 |

Figura 3.5 Simulación de la influencia de las propiedades ópticas del absorbente en el rendimiento global de un captador cilindro parabólico con cubierta de vidrio antireflectante plana sobre el reflector y con un receptor en vacío ('P0') o a presión atmosférica ('P1')

flectividad. El inconveniente de este material es la relativa baja reflectividad solar (del orden el 77%). También se han ensayado reflectores de película de aluminio y plata sobre soporte metálico siguiendo dos métodos diferentes: en cámara climática, con ensayos de envejecimiento acelerado de acuerdo a la norma AST G-154-2000 (G-53-95, 1995), y exponiéndolos a condiciones ambientales en la PSA. Por los resultados hasta ahora obtenidos se han seleccionado dos materiales candidatos a utilizarse como reflector en el prototipo.

Todos estos resultados se enmarcan, asimismo, en la colaboración de la Unidad de Sistemas de Concentración Solar con la Subtarea C ('Desarrollo de nuevos colectores y componentes') de la Tarea 33/IV de la AIE. Durante este año se ha intensificado la colaboración en la Subtarea A ('Evaluación de procesos industriales y disseminación de resultados') con la aportación del estudio sobre incentivos de promoción y datos económicos susceptibles de contribuir a la promoción del uso en la industria de la energía solar térmica en España.

Publicaciones: [3.4-3.5]

3.2.6 Fluidos de trabajo innovadores para Colectores Cilindro Parabólicos

Participantes: CIEMAT (España), Universidad Politécnica de Madrid (España)

Contacto: Eduardo Zarza, eduardo.zarza@psa.es

Presupuesto total: 950.000€.

Duración: Diciembre 2005 a Diciembre 2008

Motivación: La tecnología de colectores cilindro parabólicos es la que en la actualidad está comercialmente más desarrollada para plantas solares termo-

eléctricas, con más de 2,5 millones de metros cuadrados de colectores en operación rutinaria, y con una potencia eléctrica nominal de 340 MWe. A pesar de su madurez comercial, esta tecnología debe buscar vías para reducir costes y aumentar rendimientos, de modo que resulte más competitiva con las centrales eléctricas convencionales. Una de las posibles opciones para reducir costes y aumentar rendimientos es intentar encontrar nuevos fluidos de trabajo para los colectores. Hasta el momento se han estudiado experimentalmente tres fluidos diferentes: aceite, agua/vapor y sales fundidas. Pero existen otros posibles fluidos de trabajo que no han sido estudiados experimentalmente aún.

Objetivos: el estudio experimental de fluidos de trabajo innovadores para colectores cilindro parabólicos, evaluando su comportamiento bajo diversas condiciones reales de operación y analizando sus ventajas e inconvenientes frente a los fluidos utilizados actualmente. La consecución de este objetivo se plantea a partir de un objetivo inicial: el diseño y construcción en la PSA de un lazo de ensayos que permita llevar a cabo el estudio experimental de nuevos fluidos de trabajo con colectores cilindro parabólicos.

Logros en 2006: Las actividades llevadas a cabo en el año 2006 dentro de este proyecto han estado supervisadas por el Prof. Carlo Rubbia y se han centrado en el diseño y construcción de un lazo de ensayos adecuado para poder evaluar nuevos fluidos de trabajo bajo condiciones solares reales. El sistema diseñado consta de:

- dos colectores cilindro parabólicos del tipo Eurotrough, pero con solamente cuatro módulos conectados en serie en cada colector, con una superficie total de captación por colector de 274,2 m² y una longitud de 50 m. Estos dos colectores pueden conectarse tanto en serie como en paralelo mediante un by-pass
- un enfriador refrigerado por aire, capaz de disipar la energía térmica suministrada por los dos colectores solares
- un equipo de bombeo adecuado para suministrar el caudal de fluido requerido por los colectores, con un amplio rango de trabajo
- un intercambiador de calor que permite traspasar la energía térmica suministrada por los colectores a un circuito secundario donde se pueden instalar y ensayar sistemas de almacenamiento térmico
- un sistema de adquisición de datos y control que permite una completa monitorización del lazo.
- Válvulas automáticas de control que permiten variar de forma precisa y segura el caudal de alimentación a los colectores.
- Circuito hidráulico y accesorios capaces de trabajar a 100bar/400°C

La Figura 3.6 muestra un esquema simplificado del lazo de ensayos diseñado, el cual posee una gran flexibilidad de operación.

El lugar elegido para la instalación de este sistema experimental es la PSA, en el lado norte de la sala de control de la planta DISS. Debido a su proximidad, la sala de control de la planta DISS será utilizada también como sala de control del nuevo lazo de ensayos.

En el año 2006 se adquirió la mayor parte de los componentes para el lazo de ensayos y se instaló en la PSA parte de los mismos, entre ellos los dos colectores solares. Estos colectores solares irán provistos de un innovador sistema de seguimiento solar que garantizará la integridad de los tubos absorbedores en casos de corte de la alimentación eléctrica a las unidades de accionamiento, ya que desenfocarán automáticamente los colectores sin necesidad de tener alimentados los motores de las unidades de accionamiento mediante un sistema de alimentación segura.

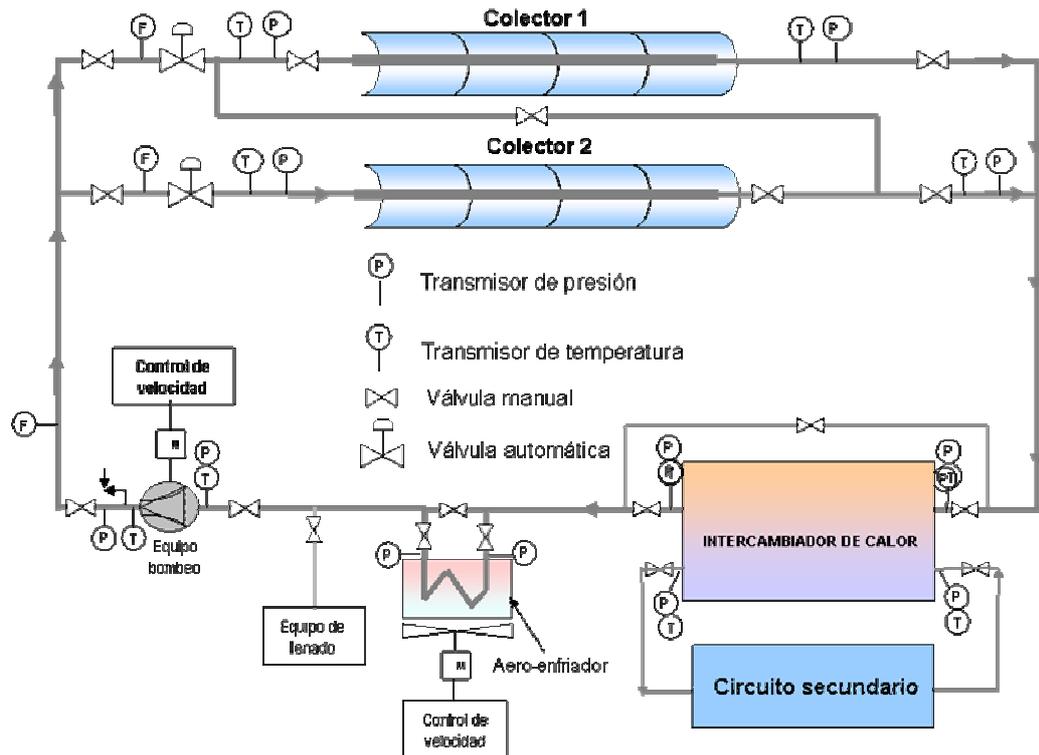


Figura 3.6 Esquema del lazo de ensayos para fluidos innovadores.

Hay que hacer notar la dificultad que ha supuesto encontrar parte del equipamiento, debido a las características especiales del mismo. No obstante, todos los equipos principales fueron comprados en el año 2006. También se construyeron las canalizaciones subterráneas para la alimentación eléctrica y neumática del lazo a partir de los sistemas correspondientes de la planta DISS de la PSA.

La Unidad de Ingeniería del CIEMAT ha utilizado programas de cálculo basados en elementos finitos para determinar el estrés que sufrirían los tubos metálicos absorbedores de los colectores cilindro parabólicos del lazo bajo diversas condiciones de operación, verificando que pueden soportar las condiciones de operación previstas.

3.2.7 Otras actividades del Grupo de Media Concentración

Adicionalmente a las actividades descritas en los párrafos anteriores, el Grupo de Media Concentración de la PSA ha llevado a cabo en el año 2006 otras actividades, como son:

- desarrollo de software de modelado y simulación: mejorando los programas existentes de simulación de campos de colectores cilindro parabólicos en entorno TRNSYS, tanto con tecnología HTF como con generación directa de vapor en los tubos absorbedores de colectores solares cilindro parabólicos.
- Evaluación de nuevos componentes y diseños para colectores cilindro parabólicos: el carácter confidencial de este tipo de trabajo impide poder dar más información concreta sobre lo realizado por la PSA en el año 2006.

- Diseminación de la tecnología de colectores cilindro parabólicos: participando en ponencias y cursos sobre energías renovables. En este campo, la contribución más significativa del Grupo de Media Concentración ha sido nuestra participación en el Curso sobre "Sistemas Solares de Concentración" impartido en Madrid entre los días 2 y 11 de octubre de 2006.
- Asesoramiento a promotores e ingenierías sobre la tecnología de colectores cilindro parabólicos: los incentivos y primas establecidos por el Real Decreto 436/2004 han dado lugar a un gran interés comercial por las plantas solares termoeléctricas. Esto ha provocado que un elevado número de empresas comiencen a explorar la posibilidad de adentrarse en este campo de la tecnología. Puesto que los colectores cilindro parabólicos son la tecnología comercialmente más madura para plantas solares termoeléctricas, la mayor parte de las empresas se están interesando por ella. Al ser la PSA el centro europeo de referencia en tecnologías solares de concentración, casi todas estas empresas acuden a la PSA para recabar información y asesoramiento. Dada la lógica limitación de recursos disponibles dentro del Grupo de Media Concentración, en algunas ocasiones resulta imposible atender en su totalidad las peticiones que recibimos en este sentido. Es nuestro deseo poder crecer adecuadamente en recursos humanos con el fin de poder dar a la industria española todo el apoyo que nos demanda en estos momentos y que, en la actualidad, nos resulta imposible atender.

3.3 Grupo de Alta Concentración

Los sistemas de Receptor Central, RC, después de la fase de escalación y demostración del concepto, se encuentran, a finales de 2006, en puertas de comenzar su primera etapa de explotación comercial. Hasta hoy, se han ensayado más de 10 instalaciones experimentales de receptor central en el mundo, como sistemas completos, y una amplia variedad de componentes (helióstatos, receptores, dispositivos de almacenamiento). La experiencia acumulada ha servido para demostrar la viabilidad técnica del concepto y su capacidad para operar con altos flujos de radiación incidente (típicamente entre 200 y 1.000 kW/m²), que permiten trabajar a altas temperaturas (entre 250°C y 1100°C) e integrarse en ciclos más eficientes de forma escalonada, pasando desde ciclos Rankine con vapor de agua saturado hasta su integración en ciclos Brayton con turbinas de gas. También han demostrado que admiten fácilmente el funcionamiento híbrido en una gran variedad de opciones y tienen el potencial de generar electricidad con altos factores de capacidad mediante el uso de almacenamiento térmico, pudiéndose plantear ya en la actualidad sistemas superando las 4.500 horas equivalentes al año. Las predicciones sobre valores de eficiencia del sistema, conversión de solar a electricidad, son del 20-23% en punto de diseño y del 15-17% anual.

El elevado coste de capital aún constituye un obstáculo hacia el pleno aprovechamiento de su potencial a nivel comercial. Las primeras aplicaciones comerciales que están a punto de ver la luz, todavía presentan costes por potencia instalada de 2.500-9.000€/kW (dependiendo del tamaño del almacenamiento) y costes de la electricidad producida en el entorno de 0,16-0,20€/kWh. Una reducción del coste de la tecnología resulta, por lo tanto, esencial para la extensión del número de aplicaciones comerciales. Consciente de este problema, la PSA, además de participar en los primeros proyectos de demostración comercial de TRC, mantiene con carácter permanente una línea de I+D centrada en el desarrollo tecnológico de componentes y sistemas con el fin de reducir costes y mejorar la eficiencia de los mismos.

Durante 2006, además de la contribución a las actividades comunes de la USCS, como mejora de capacidades de I+D propias y formación tecnológica de terceros, el Grupo de Alta Concentración Solar, GACS, ha realizado tres tipos básicos de actividad:

- Colaboración en el desarrollo de Sistemas, lo que en el actual momento de despliegue comercial de estas tecnologías podría entenderse como un acompañamiento a las empresas que están promoviendo la primera generación de plantas comerciales solares termoeléctricas de Receptor Central, como PS10 (con Solucar-Abengoa) o Solar Tres (con Sener).
- Participación en desarrollo de componentes para la tecnología de Receptor Central mediante la iniciativa o colaboración en proyectos nacionales (como AVANSOL) o internacionales (como HICON-PV o SOLHYCO).
- Mejora de las capacidades experimentales y procedimientos de calidad (como MEPSOCON)

3.3.1 SOLAR TRES

Molten Salt Solar Thermal Power 15 MW_e Demonstration Plant"

Participantes: SENER Ingeniería y Sistemas, S.A. (E), GHER,S.A. (E), CIE-MAT-PSA (E), Compagnie de Saint Gobain, S.A. (F), SIEMENS Aktiengesellschaft (D)

Contactos: Javier Viñals (javier.vinals@sener.es), Juan Ignacio Burgaleta (ignacio.burgaleta@sener.es); Félix M. Téllez (felix.tellez@ciemat.es)

Financiación: CEC-DG TREN (Programa ENERGIE, Ref.:NNE5/369/2001): 5 M€

Duración: Diciembre 2002 a Diciembre 2007

Antecedentes: El proyecto acumula la experiencia del anterior proyecto Solar Two, pero también presenta innovaciones en su diseño, como consecuencia del trabajo conjunto desarrollado por Sener y el Ciemat junto con las condiciones técnicas impuestas por la legislación española en materia de energía solar térmica. El proyecto inicial de Solar Tres fue prediseñado de acuerdo al marco legal español aplicable en 2000. Durante el desarrollo del proyecto la legislación nacional en materia de energías renovables sufrió algunos cambios, y también se sucedieron algunos cambios relativos a los propios socios, que llevaron a la reorientación del proyecto y del consorcio promotor. Finalmente, en 2005 se consolidó el equipo, integrado totalmente por compañías europeas, y liderado por Sener. Paralelamente, Sener y el Ciemat firmaron un acuerdo para el desarrollo y análisis de un nuevo concepto de helióstato y de un prototipo de receptor de sales fundidas de mayor rendimiento térmico y capaz de operar con mayores cantidades de flujo sin comprometer su durabilidad (ver siguiente proyecto).

Objetivos: El Proyecto SOLAR TRES tiene por objeto construir y explotar en España una planta de demostración a escala comercial de generación eléctrica de 17 MW de potencia nominal a partir de energía solar, mediante la tecnología de campo de helióstatos, torre, y sistema de almacenamiento de energía con sales fundidas. De acuerdo con la reciente normativa española (RD 436/04), la instalación utilizará hasta un 15% de gas natural o GLP, lo que

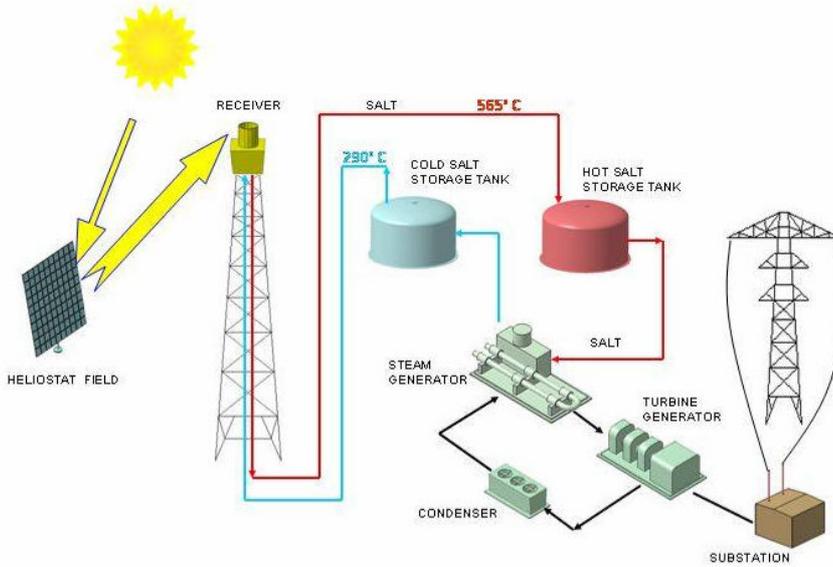


Figura 3.7 Esquema funcionamiento de Planta Solar Tres

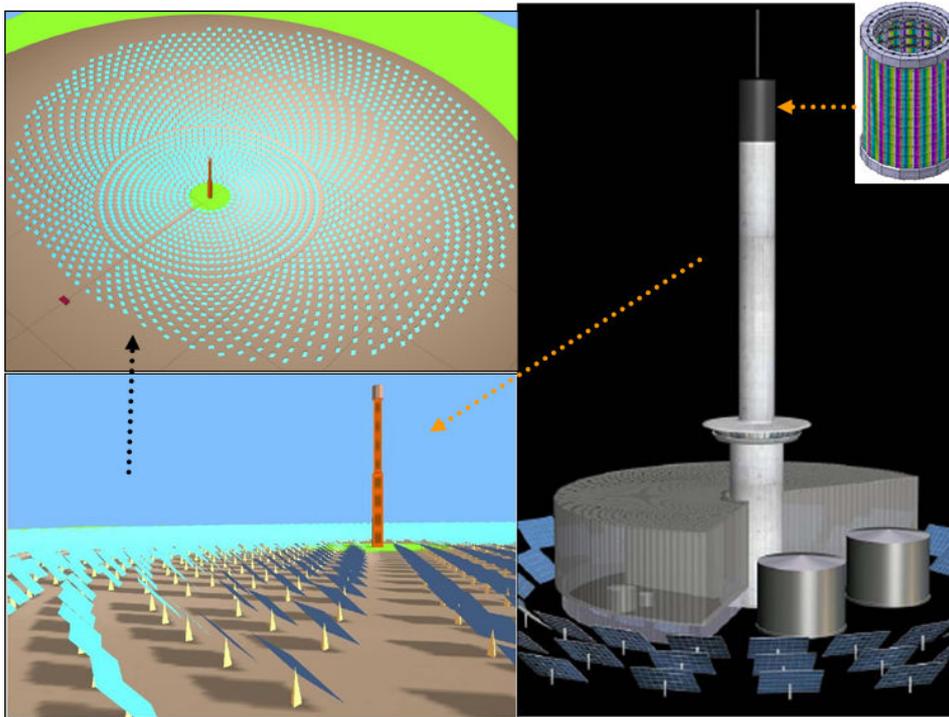


Figura 3.8 Esquemas prediseño de planta Solar Tres

unido al sistema de sales fundidas como vehículo de transferencia y almacenamiento térmico, permitirá generar 105 millones de KWh/año. Esta producción eléctrica se exportará íntegramente a la red, acogiéndose al Régimen Especial de Generación Eléctrica establecido por el citado decreto.

Logros en 2006: Sener ha gestionado los permisos y fianzas requeridos para entrar en el régimen especial; se han iniciado los estudios de idoneidad e impacto ambiental sobre el emplazamiento elegido. Se ha avanzado en la ingeniería de detalle de los componentes principales: Heliostato, Receptor y Sistema de almacenamiento térmico (Sener), Selección de Turbina (Siemens);

trazado eléctrico, instrumentación y definición de la obra civil (Sener), selección de espejos para heliostato (Saint Govain). Como tarea relevante para la evolución del proyecto Sener y Ciemat han abordado la "validación" del diseño propio de receptor para Solar Tres, mediante la construcción ensayo y evaluación de un prototipo de panel receptor con fondos propios (65% Sener, 35% Ciemat), y cuyo plan de ensayos está muy avanzado a finales de 2006.

Publicaciones: [3.6],[3.7], [3.20]

3.3.2 Desarrollo del receptor para una central solar termoeléctrica de sales fundidas.

Participantes: SENER Ingeniería y Sistemas, S.A., CIEMAT-PSA; [Ciemat participa en este proyecto desde dos Divisiones: a) CIEMAT-PSA, b) CIEMAT- División de Materiales Estructurales].

Contactos: Juan Ignacio Burgaleta (ignacio.burgaleta@sener.es); Félix M. Téllez (felix.tellez@ciemat.es)

Financiación: Fondos propios Sener (65%) y Ciemat (35%). Valoración total de 6 M€, de los cuales 1.5 M€ son para equipamiento.

Duración: 17 Noviembre 2005 a 31 Diciembre 2007.

Antecedentes: Durante 2004-2005, la empresa Boeing retiró su oferta de construcción del receptor para la planta Solar Tres, esto comprometía la continuación del proyecto dada la ausencia de una oferta comercial alternativa. Ante esta situación, Sener decidió abordar la ingeniería y desarrollo, por sí misma, del receptor de sales para Solar Tres. No obstante y de cara a reducir riesgos solicitó el apoyo de Ciemat para compartir el diseño y validación de un receptor de sales en tubo, abordando el diseño, construcción y ensayo de un panel receptor, previo a la fabricación del receptor de Solar Tres, formado por un conjunto de 16 paneles. En la segunda mitad de 2005, Sener y Ciemat

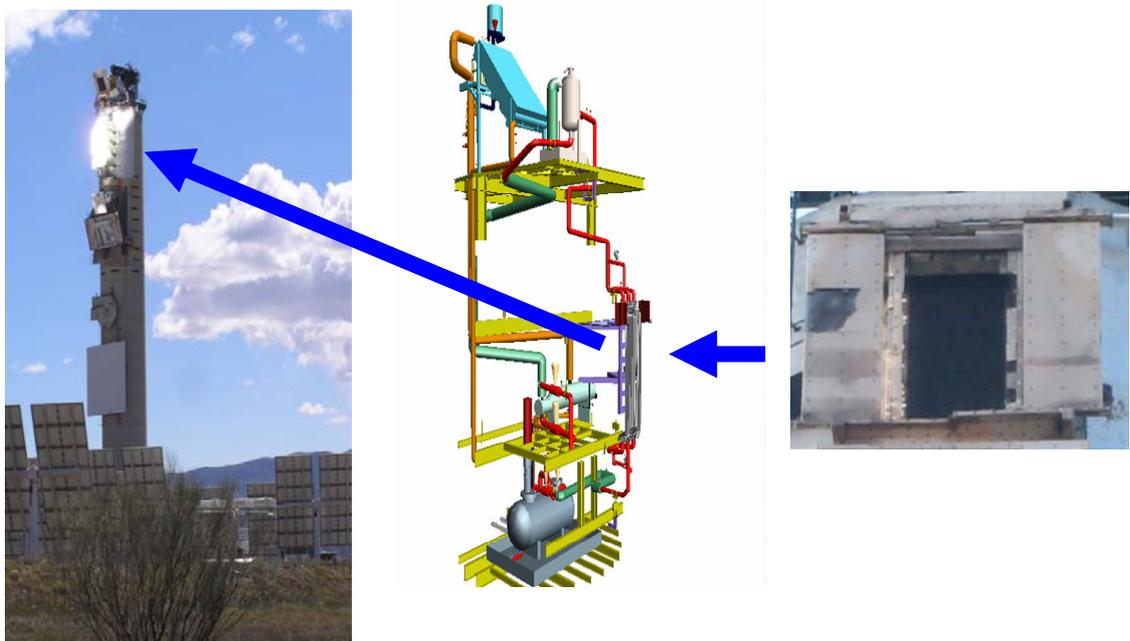


Figura 3.9 Panel Receptor de Sales durante ensayo en nivel 70 m de la Torre CESA1; esquema del dispositivo experimental y vista frontal Panel Receptor con protecciones laterales.

firmaron un acuerdo de colaboración para validar la tecnología de receptor (con tecnología Sener-Ciemat), así como para la definición de estrategias de operación y control que permitan garantizar y alargar la vida de un receptor de sales fundidas, que será aplicado en centrales solares termoeléctricas (comenzando por Solar Tres).

Objetivos: i) Reducir el riesgo asociado al primer desarrollo propio de una tecnología solar termoeléctrica de receptor central con sales fundidas ii) Validación experimental del diseño de receptor aplicable a Solar Tres; iii) revisión de la elección de materiales y geometrías para extender la esperanza de durabilidad del receptor. El conjunto de equipamiento desarrollado para el experimento constituye casi un sistema completo, a falta de la turbina y el generador eléctrico; incluyendo: Subsistema Receptor de 4 MW térmicos; Tanque de almacenamiento de sales de unas 18 toneladas; Evaporador de 1 MWh; Aero condensador; sistema de traceado eléctrico, tuberías, sistema de control y medida, dotado de unos 400 sensores.

Logros en 2006: Durante la primera mitad de 2006 se finalizó la instalación de todos los subsistemas que constituyen el lecho y prototipo experimental asociado al receptor de sales. En el tercer trimestre se realizó la puesta a punto de los diferentes sistemas de medida y control de la instalación experimental. En el cuarto trimestre se inició el plan de ensayos en cuya etapa final es alcanzar condiciones de operación muy exigentes (con flujos solares de hasta 1000 kW/m²; temperaturas en sales de 565°C y pequeñas diferencias de temperatura entre diferentes zonas del panel receptor). A finales de 2006 se habían realizado los primeros ensayos con concentración solar a bajos flujos (entorno a 100 kW/m²).

También se han finalizado las campañas de selección de aleaciones para receptor tras ensayos de envejecimiento comparativo a 2000 horas sobre materiales candidatos, se han finalizado los ensayos de envejecimiento térmico (a 750°C) y en cámara climática (para reproducción de envejecimiento acelerado debido a condiciones atmosféricas) durante siete meses encontrándose una muy buena resistencia a ambos envejecimientos del tratamiento absorbente elegido, con pérdida de absorptividad menor de 0.3% tras los siete meses de envejecimiento.

Se han realizado ensayos para determinar impurezas residuales en la mezcla de sales provenientes de diferentes suministradores para determinar las que menor capacidad de corrosión han de tener sobre los tubos del receptor y las conducciones.

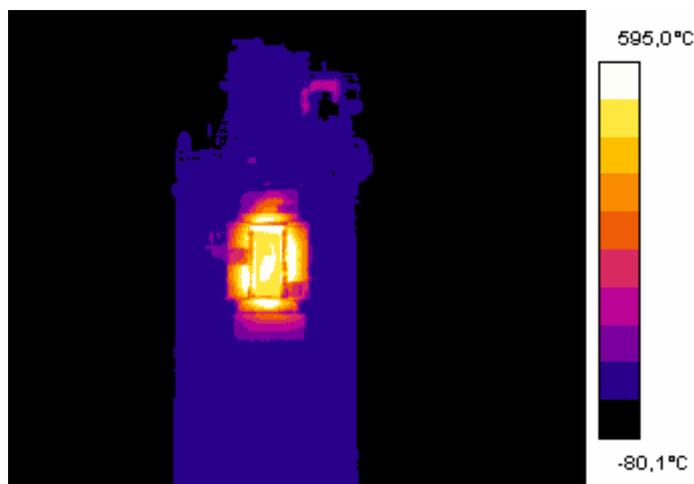


Figura 3.10 Imagen Infrarroja de Panel Receptor de sales en torre Cesa 1, durante primeros ensayos.

Finalmente se ha realizado un análisis de idoneidad del emplazamiento elegido en términos de recurso solar utilizando toda la información disponible para avalar el valor del recurso mas probable, en base a medidas disponibles, y generar una secuencia meteorológica de diseño, mediante el acopio de series disponibles en las proximidades y la acumulación y tratamiento de un año de medidas directas en el emplazamiento.

Publicaciones: [3.6],[3.7]

3.3.3 PS10

10 MW Solar Thermal Power Plant for Southern Spain.

Participants: SOLUCAR (E) Coordinador, CIEMAT (E), DLR (D), Fichtner (D).

Contactos: Valerio Fernández (valerio.fernandez@pssm.abengoa.com); Félix M. Téllez (felix.tellez@ciemat.es)

Financiación: El proyecto ha recibido una subvención de 5 M€ de la Comisión Europea CE-DG TREN , Programa ENERGIE.(Ref. NNE5-1999-00356):y 1,2 M€ de la Junta de Andalucía.

Duración: Julio 2001/Julio 2004 (participación de Ciemat extendida, mediante Acuerdo de Colaboración, hasta la puesta en funcionamiento de la planta: Marzo, 2007).

Antecedentes: El proyecto PS10, iniciado en el año 1999, ha tenido un largo recorrido hasta nuestros días y despierta numerosas expectativas dentro de la comunidad solar, al ser la primera iniciativa de torre solar comercial dentro y fuera de nuestro país. Para la PSA, el proyecto PS10 resulta de una enorme importancia pues es la referencia obligada que permite focalizar la investigación y el desarrollo en tecnologías de receptor central y canalizar una vía de realimentación entre el sector industrial, en este caso la empresa SOLUCAR, y un organismo público de investigación como CIEMAT, sirviendo para definir estrategias conjuntas en el desarrollo de helióstatos, concentradores avanzados, receptores solares, códigos y herramientas de software, así como almacenamiento térmico; siendo estos temas los generadores de diversos proyectos que han venido siendo financiados por el Programa PROFIT del Ministerio de Educación y Ciencia.

Objetivos: El objetivo principal del proyecto PS10 (Planta Solar 10) es el diseño, construcción y operación comercial de una planta solar termoeléctrica con sistema de torre y campo de helióstatos y una potencia nominal bruta de 11 MW. Esta planta ha sido instalada en el municipio de Sanlúcar la Mayor, en la provincia de Sevilla, y se espera que su inauguración tenga lugar en Marzo de 2007.

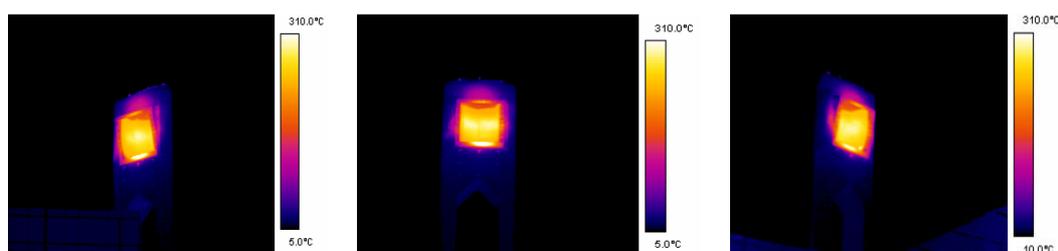


Figura 3.11 Medida Infrarroja, receptor PS10 durante fase de puesta en marcha (14/12/06) desde tres puntos de observación en campo

Logros en 2006: Durante 2006 se acabó la construcción e instalaciones y se inició la fase de puesta en marcha de la planta. Durante esta fase el Ciemat-PSA ha asesorado a Solúcar sobre los procedimientos de operación, en la elección de instrumentación para variables especiales, como el flujo solar, mediante la medida infrarroja en el receptor en los primeros ensayos de puesta a punto, etc.

Publicaciones: [3.19]

3.3.4 HICONPV

High Concentration PV Power System

Participantes: Solúcar Energía (coordinador), DLR, Fraunhofer ISE, CIEMAT-PSA, CIEMAT, RWE, Universidad de Ben Gurion, EDF y Universidad de Malta.

Contacto: Jesús Fernández Reche (Jesús.fernandez@psa.es)

Financiación: Comisión Europea dentro del Sexto Programa Marco (nº Contrato SES6-CT-2003-502626)

Duración: Diciembre de 2003 y finalizó en Diciembre de 2006

Antecedentes: La propuesta del proyecto HICON-PV se basa en el uso de células de GaAs multiunión que soportan altos flujos solares y alcanzan eficiencias cercanas al 35%. Con la tecnología actual de Silicio, las células se ven limitadas a concentraciones por debajo de 500 kW/m² y eficiencias que difícilmente superan el 20%.

Objetivo: desarrollo, fabricación y ensayo de un dispositivo fotovoltaico de concentración capaz de trabajar con flujos de radiación solar de hasta 1000 kW/m², como vía para el desarrollo de una tecnología de concentración fotovoltaica que pueda alcanzar un coste por sistema de 1€/Wp en 2015

Logros en 2006: Las tareas del CIEMAT dentro del proyecto comprenden la selección de sistemas de concentración solar adecuados para la alta concentración fotovoltaica, así como su adaptación a los estrictos requerimientos de distribución de flujo de radiación y temperatura en el módulo fotovoltaico (en colaboración con el DLR); el desarrollo de los ensayos y la evaluación de los módulos fotovoltaicos en el horno solar, y el desarrollo de estándares de ensayos, procedimientos y evaluación de dispositivos de concentración fotovoltaica.

Este último año 2006 ha supuesto la culminación del proyecto con el ensayo de los prototipos de módulos fotovoltaicos desarrollados en el instituto Fraunhofer-ISE. Durante el 2004 la actividad de la PSA en el proyecto se centró en equipar al Horno Solar con toda la instrumentación necesaria¹ para el

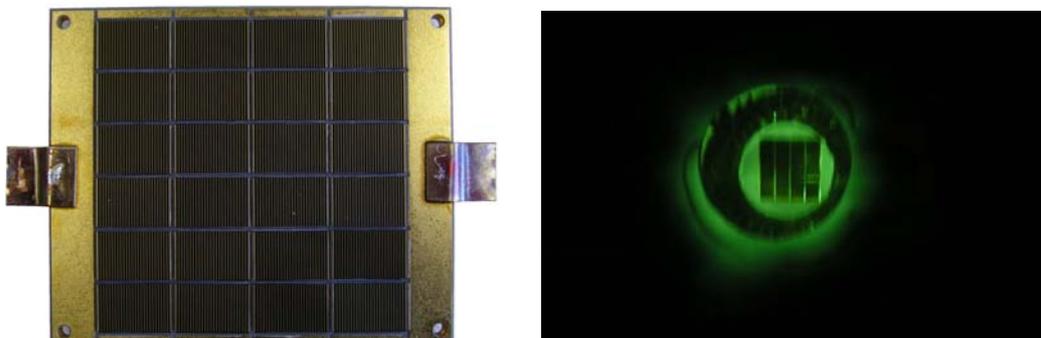


Figura 3.12 Módulo CCM: 120 VDC y 21A y foto del mismo módulo durante un ensayo a 1 MW/m²

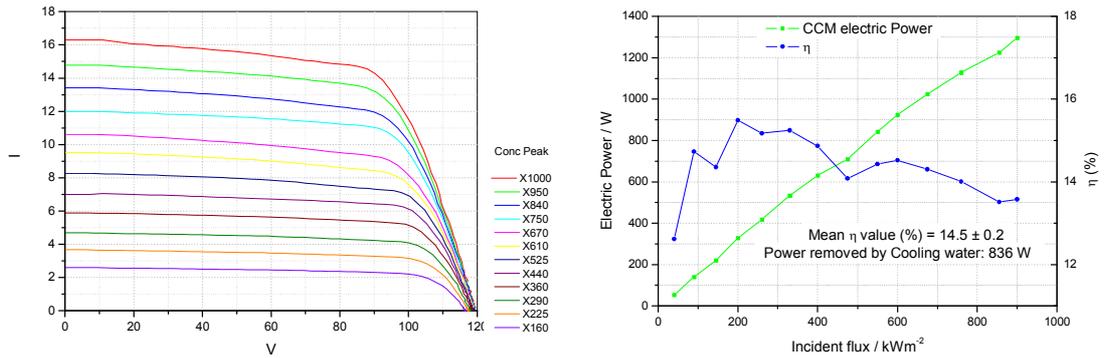


Figura 3.13 Curvas IV a diferentes concentraciones para el CCM ensayado en el horno solar y curvas de potencia eléctrica entregada y eficiencia

ensayo de las células desarrolladas por el Fraunhofer-ISE además de la simulación y optimización óptica de diversos tipos de concentradores solares (parabólicos, Fresnel o centrales de torre). Durante el 2005 se pusieron en marcha todos los nuevos componentes instalados durante 2004 y se realizaron los ensayos y la caracterización de diversas células y Módulos Integrados Monolíticos (MIMs) así como la evaluación del comportamiento térmico del enfriador para los módulos fotovoltaicos propuesto por PSE. Finalmente en 2006 se ha ensayado un prototipo de Módulo concentrador Compacto (CCM en adelante) compuesto por 5 MIMs conectados en paralelo, cada uno de ellos con 4 células conectadas en serie. El módulo completo tiene una salida de 120 VDC y 21A con una concentración de 1 MW/m². La eficiencia media experimental del módulo ensayado fue de 14.5%.

El módulo se encuentra directamente integrado en el enfriador que se caracterizó en 2005. De esta manera el contacto térmico entre módulo y enfriador se ha mejorado notablemente y es posible ensayar los CCM de manera continua sin problemas de sobrecalentamiento incluso a concentraciones altas (1 MW/m²).

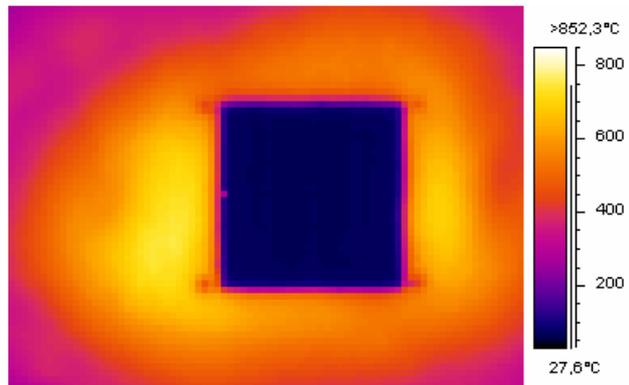


Figura 3.14 Termograma de temperatura superficial en el módulo CCM bajo una concentración de 1 MW/m²

Otra actividad dentro del proyecto ha correspondido con la propuesta de un estándar de medida de flujo solar incidente en módulos fotovoltaicos de gran superficie (mayor de 1 cm²). Debido a que la irradiancia solar que incide en la superficie del módulo fotovoltaico no es uniforme, es necesario construir un mapa de flujo solar incidente, de manera que la eficiencia del módulo se calcule respecto a este mapa de flujo. Además, debido a que la intensidad de las células conectadas en serie es igual a la de la célula que proporciona menor intensidad, que se corresponde con la que está menos iluminada, se hace necesario establecer un protocolo de medida de flujo solar incidente que diferencia entre conexionado en serie o paralelo de las distintas células fotovoltaicas interconectadas.

Publicaciones:[3.12], [3.18], [3.21]

3.3.5 AVANSOL

Absorbedores Volumétricos Avanzados para Tecnologías de Alta Concentración Solar

Participantes: Coordinador: Solucar; Participan: Fundación INASMET, Universidad de Sevilla y CIEMAT; [Ciemat participa en este proyecto desde tres Divisiones: a) CIEMAT-PSA, b) CIEMAT- Materiales para Fusión. Laboratorio Nacional de Fusión; c) CIEMAT- División de Materiales Estructurales].

Contactos: Cristina Montero (cristina.montero@solucarrd.abengoa.com); Félix M. Téllez (felix.tellez@ciemat.es)

Financiación: PROFIT, (CIT-120000-2005-49) : 513 k€

Duración: 30 de octubre de 2005 - 30 de octubre de 2007

Antecedentes: Tras las experiencias de desarrollo de unos treinta prototipos de receptores volumétricos con tamaños diferentes quedan aun una serie de temas pendientes que son cruciales para el desarrollo y la aplicación industrial de esta tipología de receptores: i) Durabilidad de los materiales; ii) Las eficiencias observadas en los receptores volumétricos hasta ahora evaluados todavía lejos de los rendimientos esperados, las temperaturas aparentes han sido similares a las máximas y los comportamientos térmicos no han llegado a reproducir adecuadamente los modelos teóricos; iii) Determinación de las técnicas óptimas de pre-tratamiento del material poroso tales como el "ennegrecimiento" previo, para operación a altos flujos y altas temperaturas; iv) Búsqueda de nuevos materiales y estructuras geométricas aplicables en esta tecnologías que permitan aumentar rendimientos térmicos y reducir costes; v) Resolver la escalabilidad a tamaños de receptor del orden de 50 MW térmicos o mayores.

Objetivo: El proyecto AVANSOL trata de dar respuesta a dos incertidumbres principales en las tecnologías solares termoeléctricas basadas en receptor de aire: 1) Durabilidad del absorbedor volumétrico en condiciones reales de operación y 2) Elección óptima del material y la geometría porosa del absorbedor. Para esto se pretende desarrollar un prototipo de absorbedor volumétrico metálico y otro cerámico avanzados (con mayores eficiencias, durabilidades y coste reducido) para aplicaciones que requieran temperaturas nominales entorno a 600-800 °C (caso del metálico) y entre 800 y 1000 °C (caso del prototipo de absorbedor cerámico).

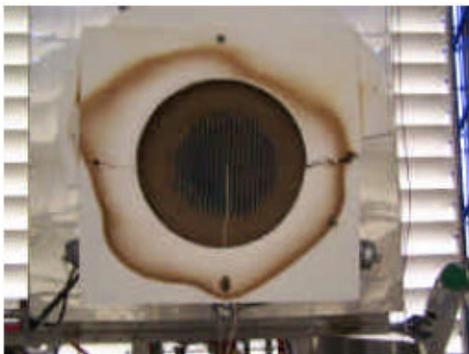


Figura 3.15 Ensayo de envejecimiento sobre absorbedor volumétrico de SiC. Con objeto de analizar el deterioro microestructural de este tipo de material se elevó la concentración sobre el absorbedor hasta que aparecieron pequeñas muestras de fundido de dicho material a temperatura superficial de unos 1500°C

Logros en 2006: Puesta a punto de Técnicas experimentales e Instalaciones:

i) lámpara de 4000 W para ensayos en laboratorio con flujos entre 100 y 1500 KW/m²; ii) banco de óptica para medida de reflectividad y transmisividad direccional de absorbedores porosos; iii) dispositivo para la realización de ensayos de ciclado solar-térmico a instalar en un disco parabólico de la plataforma solar de Almería; iv) adquisición y puesta a punto de durómetro Vickers y Knoop (Leco mod LV-700); v) adquisición y puesta a punto de sistema de análisis termogravimétrico o termobalanza.



Figura 3.16 Sistema de análisis termogravimétrico para análisis de comportamiento de los materiales sometidos a la acción combinada de temperatura elevada y de los ciclos de temperatura, en atmósfera controlada.

- Desarrollo de métodos - pretratamiento / durabilidad- para absorbedores Metálicos: En este apartado se han explorado la durabilidad de dos técnicas de "ennegrecimiento", 1) el tratamiento típico con Pyromark, 2) Un sistema de proyección térmica de óxidos metálicos
- Se han realizado algunos ensayos sobre absorbedores volumétricos en el horno de la PSA

Publicaciones:[3.17]

3.3.6 SolHyCo (SOLar HYbrid power and COgeneration plants)

Participantes: DLR (D, coordinador), Turbec (I), Ciemat (E), CEA (F), Ormat (IL), Abengoa (E), FTF (D), Sonatrach (Argelia), GEA (PL), Vitalux (BR), IIE (MEX)

Contacto: Peter Héller (peter.heller@dlr.de); Thörsten Denk (thorsten.denk@psa.es)

Financiación: Comisión Europea dentro del Sexto Programa Marco (nº Contrato 019830)

Duración: 1 de enero de 2006 y finalizará el 30 de junio de 2009

Antecedentes: Este proyecto es el sucesor de los exitosos proyectos Refos, Solgate y HST que han desarrollado soluciones de receptor de aire presurizado para integrar el calor solar en ciclos de gas o ciclos combinados y demostrado con un sistema de 250 kW_e su capacidad de producción de electricidad en esquema híbrido (con apoyo de fuel convencional). Este tipo de sistemas solar-híbridos combinan energía solar con carburante fósil, pero sólo son 100% sostenibles si se utilizan bio-carburantes

Objetivo: El objetivo principal de SolHyCo es el desarrollo de una microturbina solar-híbrida de muy alta eficiencia para la generación de electricidad tanto

como de calor que funciona con radiación solar concentrada y con biocarburante haciéndola un sistema completamente renovable. Otros fines del proyecto son estudios sobre la introducción de esta tecnología en los mercados de países soleados, en particular Argelia, Brasil, y México.

Logros en 2006: En la Plataforma Solar, se van a hacer las pruebas en dos lechos de ensayo en la torre CESA-1. La primera será en el nivel de 60 m con la turbina de la empresa israelí Ormat de una potencia eléctrica de 250 kW (Figura 3.17), que ya se operó con mucho éxito en el proyecto Solgate. Esta turbina será alimentada por tres receptores de aire de presión (uno de tubos y dos volumétricos) con una potencia térmica total de 1 MW. La diferencia con Solgate será la sustitución del keroseno por un carburante Diesel de 100% origen biológico.



Figura 3.17 Turbina "Ormat" en el nivel de 60 m en la torre CESA-1

La segunda será en el nivel de 45 m con una turbina de la empresa italiana/sueca Turbec de una potencia eléctrica de 100 kW. Para esta turbina se está desarrollando un nuevo tipo de receptor de aire de presión, basado en el concepto de tubos, pero con tubos de alta tecnología denominados "multi-layer-tubes" (tubos multicapas). Se trata de tubos de tres capas, la exterior de acero de muy alta temperatura, la mediana de cobre con el fin de una mejor distribución del calor en la circunferencia del tubo, y la interior otra vez de acero, pero muy fina, para estabilizar mecánicamente la capa de cobre.

Para el año 2006, originalmente estaba prevista la preparación de la turbina Ormat para la operación con biocombustible. Como la máquina estuvo dos años sin operar, se añadió como paso anterior la puesta en marcha de nuevo con keroseno para comprobar el estado de salud de la turbina antes de hacer las modificaciones. Sin embargo, la tarea resultó bastante más difícil que inicialmente pensado. Se empezó con la instalación de algunos componentes auxiliares como un nuevo sistema de monitorización, y se continuó con un control de salud general de varios subsistemas, como sistema de aceite de la turbina y del engranaje, sistema de comunicación torre - sala de control, armario eléctrico principal, líneas de carburante, la válvula de control del carburante ("Metering Valve"), y el sistema de refrigeración de agua con sus asociadas bombas y tuberías. Finalmente se intentó el arranque de la turbina. Como no se consiguió averiguar la causa de los fallos con los medios disponibles en la Plataforma Solar, vinieron especialistas de Ormat a principio de Noviembre. Pero a pesar de aproximadamente tres docenas de intentos de arranque, tampoco consiguieron poner en marcha la turbina. Como razón más

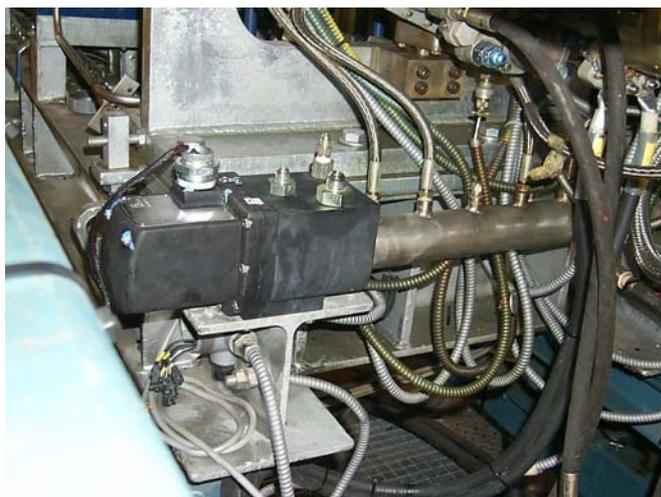


Figura 3.18 El "Metering Valve" (líneas de carburante desconectadas)

probable del problema identificaron posibles depósitos en los tubos capilares del "Metering Valve" (Figura 3.18). La válvula se mandó al fabricante en EE.UU. donde se hizo una limpieza a fondo, la sustitución de algunas piezas con respecto al futuro uso con bio-fuel, y una nueva calibración.

Para el año 2007 está prevista la puesta en marcha de la turbina "Ormat", la modificación de los componentes para el uso de biocombustible, ensayos solares a 100% renovable, y finalmente la instalación de la turbina "Turbec" y el nuevo receptor de tubo multicapa en el nivel de 45 m.

3.3.7 MEPSOCON

MEdida de **P**otencia **S**olar **C**ONcentrada en plantas eléctricas de receptor central y Laboratorio de Radiometría

Participantes: CIEMAT

Contacto: Jesús Ballestrín (jesus.ballestrin@psa.es)

Financiación: Plan Nacional 2002 de I+D Programa de Producción Industrial. Ministerio de Ciencia y Tecnología (Referencia DPI2003-03788)

Duración: Diciembre 2003 a Diciembre 2006

Antecedentes: En la Plataforma Solar de Almería (PSA) se utilizan diferentes sistemas para medida de altas irradiancias solares en superficies extensas. En estos sistemas el elemento fundamental es el radiómetro de cuyo correcto uso y utilización dependerá la medida de la potencia de la radiación solar concentrada incidente en la apertura de los receptores solares. La medida de esta magnitud es fundamental para determinar la eficiencia de los prototipos de receptor evaluados en PSA y para definir el diseño de las futuras plantas solares de receptor central

Objetivos: i) Definición de un procedimiento de calibración de sensores (calorímetros o fluxómetros) para la medida del flujo solar concentrado (en el rango de 100-1000 kW/m²). ii) Modelización y diseño de un nuevo calorímetro que subsane las deficiencias de los existentes; iii) Integración de los sistemas existentes de medida de potencia de radiación solar concentrada para evalua-



Figura 3.19 Nuevo laboratorio de Radiometría.

ción de receptores solares con objeto de conseguir una medida redundante de esta magnitud que garantice su validez.

Logros en 2006: Finalización del proyecto. Los resultados más relevantes alcanzados durante el proyecto MEPSOCON han sido:

- 1) Definición y puesta en práctica de procedimientos para el calibrado de radiómetros de alta irradiancia solar. Hasta la fecha no había procedimientos establecidos para el calibrado de estos sensores.
- 2) Detección y corrección de un error sistemático que se venía cometiendo en la medida de altas irradiancias solares.
- 3) Desarrollo y mejora de un sistema híbrido de medida de potencia radiativa para superficies extensas. Este sistema puede adaptarse a los diferentes a las necesidades de los diferentes tipo de ensayos. Este año ha sido concedida la patente nacional por este sistema.

Destacar durante este año, la finalización del Laboratorio de Radiometría donde se han llevado a cabo gran parte de las actividades del proyecto mencionado.

Este laboratorio está actualmente en funcionamiento y dando servicio a CIEMAT y a otras entidades nacionales y extranjeras. Estos servicios son:

- Calibración de radiómetros de alta irradiancia solar.
- Calibración de sensores IR para medida de temperatura.

Un cuerpo negro ofrece la posibilidad de ser empleado como fuente de radiación térmica para referencia y calibración de dispositivos IR (cámaras de infrarrojos y pirómetros) que utilizan la radiación térmica como medio para determinar la temperatura de una determinada superficie. También es utilizado como referencia de irradiancia para calibración de radiómetros.

El Laboratorio de Radiometría cuenta con dos cuerpos negros como referencia. El cuerpo negro MIKRON M330 puede proporcionar cualquier temperatura entre 300 y 1700 °C con una exactitud de $\pm 0.25\%$ y una resolución de 1°C. Su emisividad es de 0.99 en una



Figura 3.20 Calibración de detector IR en laboratorio.

apertura de 25 milímetros de diámetro. El cuerpo negro MIKRON M305 puede proporcionar cualquier temperatura entre 100 y 1000 °C con una exactitud de $\pm 0.25\%$ y una resolución de 1°C. Su emisividad es de 0.995 en una apertura de 25 milímetros de diámetro. Ambos llevan incorporado un sistema de control PID y la temperatura es comprobada mediante un termopar de platino de alta precisión.

Publicaciones: [3.8 -3.17]

3.4 Grupo de Combustibles Solares y Solarización de Procesos Industriales

La producción de vectores energéticos distintos de la electricidad que permitan un almacenamiento estacional y transporte de la energía solar, así como la integración en procesos industriales que requieren adaptar el proceso para integrar el aporte solar en aquellas etapas más endotérmicas, constituyen actividades emergentes en la PSA y coordinadas desde el Grupo de Combustibles Solares y Solarización de Procesos Industriales. En el primer caso relativo a los combustibles solares, la producción de hidrógeno por vía termoquímica es, sin duda, el proceso que concentra un mayor esfuerzo. El reciente interés suscitado por el hidrógeno como vector energético en el sector transporte y el indudable atractivo que presenta su producción limpia a partir de energía solar hacen que desde la PSA se esté prestando especial interés a la adaptación de las tecnologías de concentración solar a alta temperatura para su aplicación a la producción masiva de hidrógeno. La actividad se encuentra recogida en dos proyectos Europeos (INNOHYP y HYDROSOL), un proyecto financiado por el programa PROFIT (SOLTER-H), un proyecto financiado por el programa de investigación de la Comunidad de Madrid (PHISICO2) y un proyecto con un importante apoyo industrial por parte de la empresa Petróleos de Venezuela (SYNPET). Estos proyectos se ven complementados con la participación en dos iniciativas de redes tecnológicas en la materia, una de ellas europea denominada Sushypro y otra de carácter internacional denominada THESIS y amparada por el Partenariado Internacional de la Economía del Hidrógeno (IPHE). La aplicación de las tecnologías de concentración solar a procesos industriales a alta temperatura es otro campo de enorme importancia, que en el caso de la PSA se canaliza a través del proyecto coordinado SOLARPRO.

3.4.1 Producción de hidrógeno

Al igual que sus homólogos Europeos, Norteamericanos y Japoneses, CIEMAT, como laboratorio nacional de investigación energética, está promoviendo un programa propio de desarrollo de tecnologías del hidrógeno. La producción de hidrógeno forma parte de dicho Programa, con un peso y objetivos de impacto. A pesar de todas las incertidumbres y retos que se plantean alrededor de la llamada economía del hidrógeno, resulta evidente que los programas públicos de promoción de las actividades de I+D, cada vez van a prestar un apoyo más significativo al hidrógeno. El principal objetivo de CIEMAT en este campo es la investigación y desarrollo en tecnologías de producción de hidrógeno eficientes y competitivas que permitan la implantación de la economía del hidrógeno en España, en los sectores del transporte y de consumo estacionario, a partir de fuentes energéticas autóctonas. La PSA constituye el instrumento fundamental para el desarrollo de procesos de producción de hidrógeno utilizando el abundante recurso solar disponible en nuestro país y el excelente conocimiento de tecnologías de concentración solar aplicables a reac-

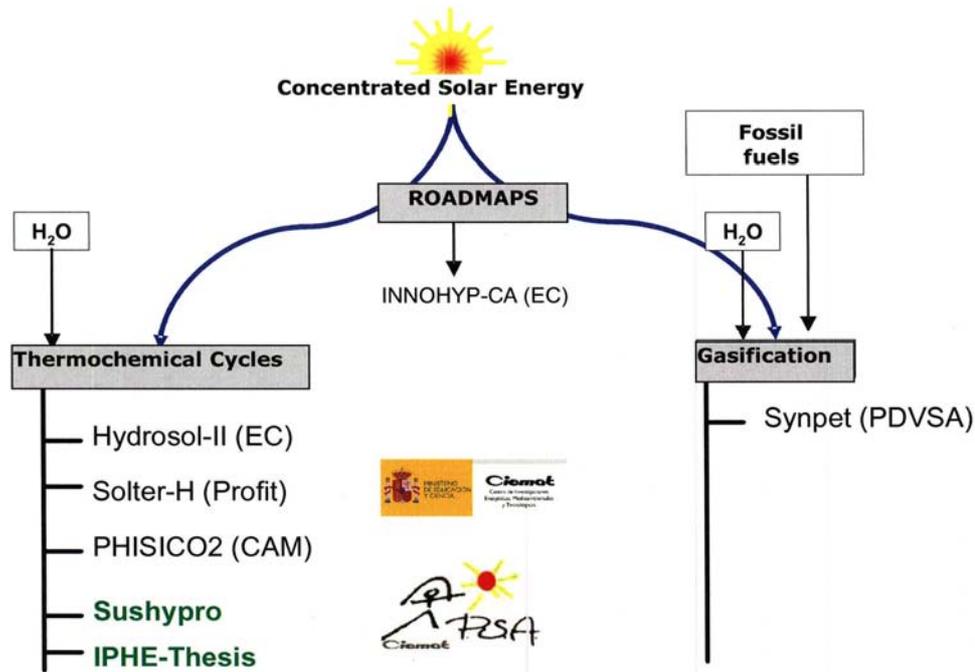


Figura 3.21 Líneas de actividad y proyectos en producción de hidrógeno por vía termoquímica en la PSA

tores operando a temperaturas superiores a los 1.000°C. Las líneas de actividad se concretan en dos campos de actuación (Figura 3.21):

- Desarrollo de procesos y tecnologías de descarbonización de combustibles fósiles y de valorización de los mismos mediante gasificación solar, con especial atención a materiales carbonosos de baja calidad.
- Demostrar a escala pre-comercial la viabilidad técnica y económica de la disociación de agua para producción de hidrógeno mediante el uso de ciclos termoquímicos con energía solar concentrada.

Estas líneas de I+D se ven complementadas con la participación en foros y grupos de trabajo internacionales como IPHE y Sushypro y la realización de estudios de viabilidad y hojas de ruta como INNOHYP.

3.4.2 INNOHYP

Hoja de ruta sobre producción de hidrógeno por vía termoquímica (Proyecto Innovative High Temperature Routes for Hydrogen Production)

Participantes: CEA (F) coordinador, CIEMAT (E), Empresarios Agrupados (E), ENEA (I), DLR (D), Universidad de Sheffield (UK), JRC-Petten (UE), CSIRO (Australia).

Contacto: François Le Naour, francois.le-naour@cea.fr

Contacto PSA : Manuel Romero, manuel.romero@ciemat.es

Financiación: Proyecto cofinanciado por la CE. Presupuesto total: 617 k€. Presupuesto CIEMAT: 55 k€.

Duración: 1 de septiembre de 2004 – 31 de Diciembre de 2006

Motivación: El desarrollo acelerado de la llamada economía del hidrógeno pasa ineluctablemente por el progreso de tecnologías innovadoras para la producción de este vector en cantidades masivas, sin emisiones contaminantes y a precios competitivos. La utilización de ciclos termoquímicos que consiguen la descomposición térmica de la molécula de agua a partir de etapas redox consecutivas es extraordinariamente atractiva pero requiere la utilización de fuentes energéticas limpias e inagotables, como es el caso de la energía solar. El número de ciclos termoquímicos analizado en la literatura es enorme, pero la mayor parte de las opciones solamente se ha estudiado de forma teórica o a lo sumo a escala de laboratorio. El interés de una hoja de ruta en la materia es compilar la información disponible sobre los distintos procesos y proponer líneas maestras de actuación conjunta en el ámbito Europeo.

Objetivos: El proyecto INNOHYP-CA (Innovative high temperature routes for Hydrogen Production – Coordinated Action) es una Acción Concertada financiada por la Comisión Europea en su VI Programa Marco, que tiene por objeto revisar el estado del arte en procesos innovadores de producción masiva de hidrógeno por vía térmica y sin emisiones de CO₂ [3.22]. Son objetivos del proyecto:

- Analizar el estado del arte actual en producción masiva de hidrógeno con procesos térmicos a alta temperatura.
- Posicionar estas tecnologías con respecto a los procesos convencionales basados en combustibles fósiles.
- Definir las necesidades de investigación y proponer actividades prioritarias para la consolidación de una hoja de ruta Europea.
- Crear una plataforma para compartir y coordinar resultados de investigación en estos procesos, en colaboración con la Plataforma Tecnológica Europea del Hidrógeno y con IPHE (International Partnership of Hydrogen Economy)

Resultados alcanzados en 2006: El proyecto inició su andadura en septiembre de 2004 y ha finalizado en diciembre de 2006, por lo que durante este último año se ha completado el programa de trabajo y se ha emitido el correspondiente informe final a la Comisión Europea. Los resultados del proyecto han sido presentados en un Seminario de difusión que tuvo lugar en Bruselas el 29 de noviembre de 2006. La recopilación del estado del arte ofrece una selec-

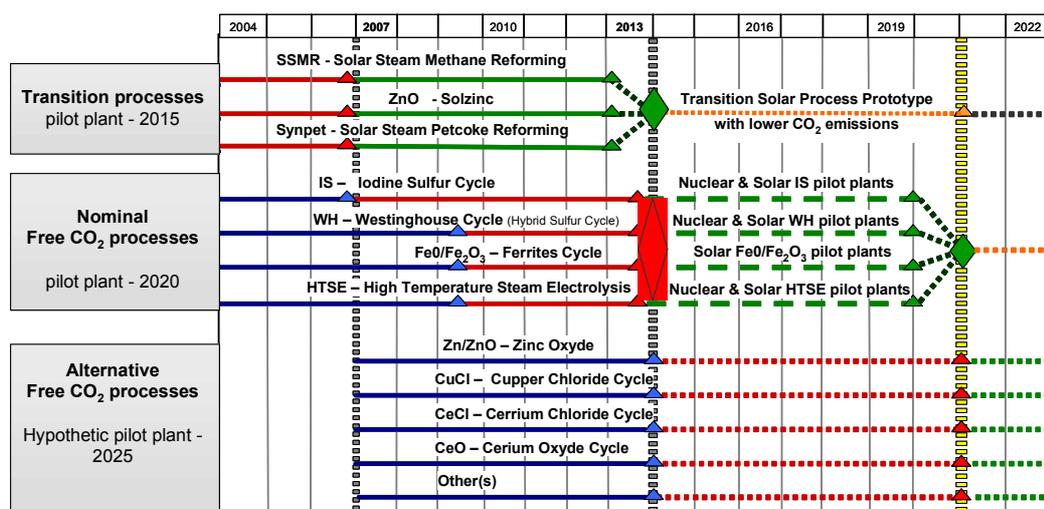


Figura 3.22 Principales procesos de producción térmica de hidrógeno a alta temperatura retenidos para su desarrollo de cara a una futura economía del hidrógeno (Fuente: INNOHYP).

ción de procesos prometedores, agrupados en tres categorías (Figura 3.22): Procesos de transición basados en descarbonización; procesos de disociación de agua de primera generación y procesos alternativos o de segunda generación. La hoja de ruta contempla el desarrollo de plantas piloto para procesos de transición antes del año 2015 en tecnologías de reformado solar de metano, gasificación solar de materiales carbonosos y reducción carbotérmica de óxido de zinc. Durante el mismo periodo se llevarían a cabo desarrollos a escala de laboratorio que permitirían abordar plantas piloto en el periodo 2015-2020 para tecnologías de disociación de agua basados en el ciclo IS, Westinghouse, Ferritas mixtas y electrolísis a alta temperatura. En una tercera etapa se culminaría el desarrollo de ciclos alternativos tecnológicamente más exigentes como el ciclo ZnO/Zn o menos conocidos como el CuCl y el CeCl, que alcanzarían plantas piloto hipotéticamente hacia el año 2025. La hoja de ruta incorpora el desarrollo en paralelo de actividades de I+D horizontales en desarrollo de materiales, componentes como cambiadores de calor a alta temperatura y bancos de ensayo.

Publicación: [3.22]

3.4.3 SYNPET

Proyecto de gasificación solar de coque de petróleo

Participantes: El proyecto de gasificación solar de coque de petróleo es una colaboración entre la empresa Petróleos de Venezuela (PDVSA), el Instituto Tecnológico de Zurich (ETH) y CIEMAT.

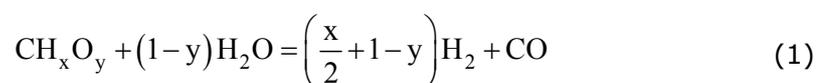
Contacto: Juan Carlos de Jesús, dejesusjc@pdvsa.com

Contacto PSA : Manuel Romero, manuel.romero@ciemat.es

Financiación: Proyecto financiado por los socios, con participación mayoritaria de PDVSA. Presupuesto total: 6.950 k\$. Presupuesto CIEMAT: 1.940 k\$.

Duración: 1 de septiembre de 2002 – 31 de Diciembre de 2007

Motivación: La gasificación solar de materiales carbonosos es una ruta de gran interés en la transición a la economía del hidrógeno. En la gasificación convencional, cuando se utiliza a escala industrial, la energía necesaria para calentar los reactivos y para el calor de la reacción se aporta quemando una importante cantidad de material prima, ya sea directamente por combustión interna, o indirectamente por combustión externa. La combustión interna, tal y como se aplica en los reactores auto-térmicos, da lugar a la contaminación de los productos gaseosos, mientras que la combustión externa, como se aplica en los reactores alo-térmicos resulta en un menor rendimiento térmico debido a las irreversibilidades asociadas a la transferencia indirecta de calor. Alternativamente, las ventajas de suministrar energía solar para procesos de calor se multiplican por tres: 1) el valor calorífico de la materia prima se aumenta; 2) los productos gaseosos no son contaminados por los subproductos de combustión; y 3) se evita el vertido de contaminantes al medioambiente. Además, la irradiación directa de los reactivos proporciona un medio de transferencia de calor muy eficiente directamente a la zona de reacción química, donde se necesita la fuente de energía, evitando las limitaciones impuestas por los intercambiadores de calor. La gasificación solar de coque sin combustión se representaría de forma simplificada por la reacción:



La gasificación de 1 mol de C precisa aproximadamente 1 mol de C como fuente de aporte energético. Por este motivo, la sustitución del aporte energético fósil por solar hace que aproximadamente se produzca una reducción del 50% en las emisiones de CO₂.

Objetivos: El principal objetivo del proyecto SYNPET es desarrollar un proceso específico de gasificación solar de coque y residuos procedentes del procesamiento de petróleos extra-pesados de la Faja del Orinoco. El desarrollo se concreta en la obtención de los parámetros termodinámicos y cinéticos de las reacciones asociadas, así como la selección de tamaños de partículas y tiempos de contactos, diseño de un reactor solar con ventana de cuarzo y su escalación y ensayo en una instalación de 500 kW ubicada en el nivel superior de la torre CRS de la PSA.

Resultados alcanzados en 2006: Una vez demostrada la viabilidad técnica del proceso en años anteriores, en el año 2006 los ensayos se han centrado en seleccionar el tamaño óptimo de partícula del coque a gasificar y en probar un método de inyección del material. Finalmente se ha optado por la alimentación del coque en forma de "slurry" con mezcla de partículas en agua. Las ventajas prácticas de utilizar "slurry" están asociadas con un transporte e inyección del reactivo sólido más fáciles y con la propia escalabilidad del tamaño del sistema. En 2006 se han realizado campañas experimentales con coque de petróleo alimentado como "slurry". La figura 3 muestra el efecto del tamaño de partícula y la estequiometría del "slurry" sobre la conversión química del coque de petróleo y la eficiencia energética en la conversión. Una relación H₂O/C más alta en el slurry favorece la cinética de la reacción, pero a expensas de mayores caudales y menores tiempos de residencia, resultando en menores conversiones. La conversión media obtenida fue del 48% y el máximo fue 87%, usando partículas con diámetros menores de 80 μm.

Los resultados obtenidos han servido para completar el diseño y construcción de un reactor de 500 kW, así como para la definición del sistema de precalentamiento y rechazo de calor. La instalación Synpet-500 será montada y ensayada en la PSA durante el año 2007.

Publicación: [3.23] - [3.27]

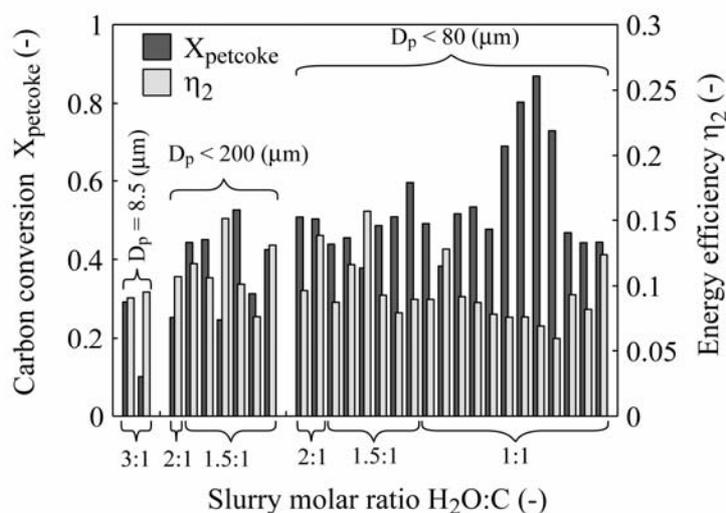


Figura 3.23 Conversión química del coque de petróleo y eficiencia energética en la conversión obtenida en los ensayos solares, ordenadas con respecto al tamaño de partícula y la estequiometría en el slurry.

3.4.4 SolterH

Generación de hidrógeno a partir de energía solar térmica de alta temperatura. Proyecto PROFIT.

Participantes: Hynergreen y CIEMAT.

Contacto: Cristina Rodríguez;
cristina.rodriguez@hynergreen.abengoa.com

Contacto PSA : Alfonso Vidal, Alfonso.vidal@ciemat.es

Financiación: Proyecto de cooperación financiado por programa PROFIT del MEC. Presupuesto total: 987 k€. Presupuesto CIEMAT sin incluir personal: 286 k€.

Duración: 1 de enero de 2004 – 31 de diciembre de 2008

Motivación: Los ciclos termoquímicos, son los procesos en los que se tiene depositada la confianza como gran solución a medio-largo plazo para la producción masiva de H₂ limpio a partir de energía solar. La electrólisis se constituye en el proceso de referencia ("benchmark") de producción de H₂ a partir de la disociación del agua. Con un rendimiento de un 35% en la conversión eléctrica y un 70% en el electrolizador, estaríamos hablando de eficiencias en el entorno del 25%. Con tecnologías avanzadas, difícilmente este valor sobrepasaría el 32%. Si bien la energía nuclear ve limitada su utilización en procesos termoquímicos a temperaturas en el entorno de los 900°C, esto no ocurre con la energía solar. Las tecnologías de concentración solar permiten alcanzar con costes razonables flujos por encima de los 5 MW/m² y temperaturas superiores a los 2000K. Esto permite abordar el desarrollo de otros ciclos termoquímicos más eficientes que utilizan solamente dos etapas con reacciones redox metal/óxido. El menor número de etapas es fundamental para la solarización del proceso y su adaptación a las fluctuaciones inherentes al recurso solar.

Etapas 1 (solar): $M_xO_y \rightarrow xM + \frac{y}{2}O_2$

Etapas 2 (no solar): $xM + yH_2O \rightarrow M_xO_y + yH_2$.

La utilización de óxidos mixtos (con base en hierro) permite rebajar considerablemente la temperatura ya que la etapa de generación de hidrógeno se basa en la creación artificial de defectos en la estructura del óxido de tal forma que se aumenta la avidez por dicho material. Por este motivo el proyecto Solter-H se centra en el desarrollo de tecnologías basadas en el uso de ferritas mixtas como candidatos óptimos para la producción de hidrógeno por vía termoquímica.

Objetivos: El Proyecto SolterH tiene como principal objetivo demostrar la utilidad del binomio energías renovables - vector hidrógeno, específicamente de la energía solar térmica, y su uso para la producción de un hidrógeno limpio y renovable, a partir del empleo adecuado de un recurso ilimitado y abundante como es el sol. Así, el objetivo final de este Proyecto es el diseño, desarrollo y evaluación de un sistema capaz de producir hidrógeno a partir de energía solar térmica de alta temperatura, con un hito importante al final del proyecto que consistirá en el ensayo de un reactor de 5 kW en el horno solar de la PSA. Para ello se han estudiado y revisado durante la primera fase del proyecto que tuvo lugar en el año 2004/2005 las distintas posibilidades atendiendo a criterios de viabilidad técnica y económica, valorando las ventajas e inconvenientes aportados por cada una de ellas. En definitiva, podríamos resumir diciendo que el SOLTER-H Fase I establecía claramente que la utilización de ciclos sencillos de operar con temperaturas de operación elevadas y que permitieran

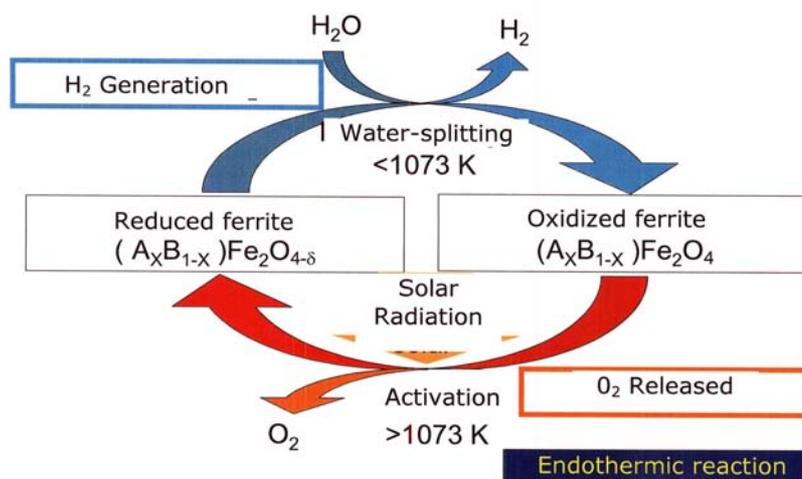


Figura 3.24 Representación esquemática del ciclo de Ferritas para producción de H_2 seleccionado en el proyecto SOLTER-H

variaciones en el aporte energético sin sufrir una disminución importante de los valores de eficiencia eran buenos candidatos para nuestras necesidades. El ciclo basado en óxidos mixtos (ferritas) poseía todas las cualidades para ser un ciclo idóneo, es decir, sencillez y temperaturas relativamente altas aunque tenía el inconveniente de la ausencia de datos fiables de operación.

Resultados alcanzados en 2006: En esta segunda fase del proyecto se ha iniciado la puesta a punto del dispositivo experimental y los primeros ensayos con los materiales sintetizados por el Instituto de Catálisis y Petroleoquímica del CSIC, mediante un contrato de suministro. Estas actividades han consistido en la preparación y síntesis de ferritas, el diseño de un sistema de inyección de partículas y la caracterización del reactor. Estas actividades se han completado con ensayos en modo "batch" que han demostrado por primera vez en nuestros laboratorios la producción de H_2 utilizando estos materiales. Los ensayos en "batch" no permiten extraer conclusiones claras de cara a la viabilidad técnica de este proceso, dado que no permiten realizar los ensayos en las condiciones más adecuadas. Actualmente se está trabajando para incorporar un reactor de partículas de manera que los próximos ensayos sirvan para calibrar de una manera más adecuada la viabilidad del proceso.

3.4.5 PHISICO2

Producción Limpia de Hidrógeno: Alternativas sin emisiones de CO_2 .

Participantes: Universidad Rey Juan Carlos, CSIC, INTA, REPSOL, HYNER-GREEN y CIEMAT.

Contacto: David Serrano; david.serrano@urjc.es

Contacto PSA: Manuel Romero, manuel.romero@ciemat.es

Financiación: Proyecto de cooperación financiado por el IV PRICIT-Plan Regional de Ciencia y Tecnología de la Comunidad de Madrid. Presupuesto total: 1.000 k€. Presupuesto CIEMAT sin incluir personal: 240 k€.

Duración: 1 de enero de 2006 – 31 de diciembre de 2009

Motivación: El presente proyecto tiene como motivación fundamental coordinar y poner en común los esfuerzos y capacidades de investigación de una serie de grupos de diferentes instituciones (URJC, CSIC, CIEMAT, e INTA) en relación con el estudio y desarrollo de diferentes procesos de producción de hidrógeno de una forma limpia, es decir, libre de emisiones de CO₂ y utilizando energías renovables como fuente de energía primaria para su generación. También se cuenta con dos empresas del sector energético (REPSOL YPF y HYNERGREEN), que han mostrado su interés en realizar un seguimiento de los resultados y participar activamente en el proyecto. Cabe reseñar que en el mencionado proyecto la participación de CIEMAT está siendo soportada no sólo por el grupo de la PSA, sino también por la División de Química y la Unidad de Materiales del Laboratorio de Fusión. Los procesos de producción de hidrógeno que se contemplan en este proyecto son los siguientes: fotoelectrolisis del agua, ciclos termoquímicos y descarbonización de gas natural. Además de contribuir al desarrollo científico-técnico de estas alternativas, con el presente proyecto se pretende evaluar su viabilidad tanto tecnológica como económica a medio-largo plazo, así como su capacidad de reducir las emisiones de CO₂ respecto de sistemas más convencionales de producción de hidrógeno, como es el caso de la gasificación y el reformado con vapor de agua.

Objetivos: El objetivo fundamental del proyecto es el estudio de diferentes procesos limpios de producción de hidrógeno a fin de avanzar en la resolución de las limitaciones tecnológicas y económicas que presentan actualmente, lo que resulta clave para poder llevar a cabo una futura transición hacia la economía del hidrógeno. Las alternativas contempladas en este proyecto se caracterizan por evitar la formación de CO₂ como co-producto del hidrógeno y utilizar fuentes renovables para proporcionar la energía consumida en la formación y liberación del hidrógeno.

- 1) Producción de hidrógeno a partir del agua por fotodescomposición
- 2) Producción de hidrógeno a partir de agua mediante procesos solar-térmicos basados en ciclos termoquímicos
- 3) Producción de hidrógeno a partir de gas natural mediante descarbonización catalítica
- 4) Análisis comparativo de las diferentes posibilidades planteadas de obtención de hidrógeno

Resultados alcanzados en 2006: Si bien CIEMAT participa en varios de los sub-proyectos, su principal dedicación está recogida en el subproyecto 2 relacionado con la producción termoquímica de hidrógeno. La actividad de CIEMAT en PHISICO2 se complementa en gran medida con las actuaciones y desarrollos recogidos en el proyecto Solter-H. En el año 2006 el esfuerzo científico se ha centrado en la síntesis, caracterización fisico-química y ensayos termogravimétricos de diferentes óxidos mixtos basados en metales de transición con el objeto de identificar la eficiencia en producción de hidrógeno y sobre todo temperaturas óptimas de proceso a fin de seleccionar los más aptos para la solarización. Se ha trabajado, asimismo, en el montaje de un banco de ensayos a escala laboratorio. Se han realizado los procesos de síntesis, caracterización fisico-química y de reducción térmica en termobalanza de la serie $Mn_xNi_{1-x}Fe_2O_{4-\delta}$, variando la relación Ni/Mn entre 0 y 3. La síntesis se ha realizado por vía húmeda mediante el método de Pechini a partir de nitratos de Ni, Fe y Mn. En todos los casos se han realizado ensayos termogravimétricos a diferentes rampas de calentamiento y utilizando como gas de arrastre nitrógeno, helio o aire. La utilización de este último como gas de arrastre desde el punto de vista de escalado a nivel industrial sería el óptimo puesto que se evitaría la utilización de gases inertes con el consiguiente abaratamiento de los costes de generación de hidrógeno, no siendo necesaria la etapa de sepa-

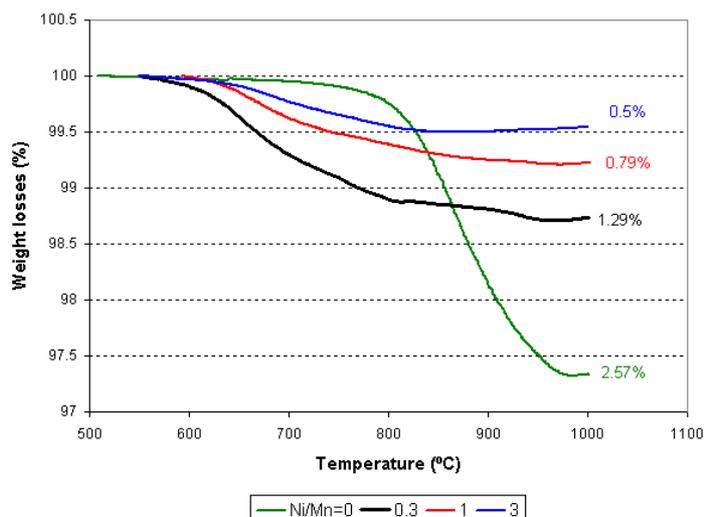


Figura 3.25 Ensayos de pérdida de peso en la etapa de activación realizados en balanza termogravimétrica, con pérdida de peso frente a temperatura para muestras de ferritas mixtas tipo $Ni_xMn_{1-x}Fe_2O_4$ (arrastre con nitrógeno y velocidad de calentamiento $20^\circ\text{C}/\text{min}$)

ración del oxígeno para reutilización del gas inerte. El objetivo final es que la temperatura de proceso en la fase de activación no supere los 1200°K ya que las pérdidas por radiación aumentan con la cuarta potencia de la temperatura. Los análisis TGA/DTA han mostrado, con nitrógeno como gas de arrastre, pérdidas de peso en las ferritas que pueden ser claramente atribuidos a la reducción parcial de la magnetita. La pérdida de peso y la temperatura de activación aumentan cuando la relación Ni/Mn disminuye, siendo 0.5% a 700°C y 2.57% a 900°C para Ni/Mn=3 y 0 respectivamente (Figura 3.25). Si bien en el año 2006 todavía no se han realizado ensayos de hidrólisis con producción de hidrógeno, los resultados obtenidos en la etapa de activación (desorción de oxígeno) han sido muy esperanzadores, cabiendo esperar mediante estimaciones teóricas que se puedan obtener producciones de hidrógeno del orden de 1 a 3 $\text{mg H}_2/\text{g}$ ferrita en la reacción de disociación de agua.

Publicación: [3.28]

3.4.6 HYDROSOL-II

Solar Hydrogen via Water Splitting in Advanced Monolithic Reactors for Future Solar Power Plants (Proyecto).

Participantes: APTL (GR), DLR (D), CIEMAT (E), STC (DK), Johnson Matthey (RU).

Contacto: Christos Agrafiotis; chrisagr@cperi.certh.gr

Contacto PSA: María Jesús Marcos, mj.marcos@ciemat.es

Financiación: Proyecto de cooperación financiado por el VI Programa Marco de la CE. Presupuesto total: 4.230 k€. Presupuesto CIEMAT: 647 k€.

Duración: 1 de diciembre de 2005 – 1 de diciembre de 2009

Motivación: La producción de hidrógeno solar por vía termoquímica se enfrenta al gran reto de conseguir la escalación de tecnologías de concentración solar y reactores capaces de operar para potencias de varios MW. Indudablemente será la tecnología de receptor central, o de campo de helióstatos con

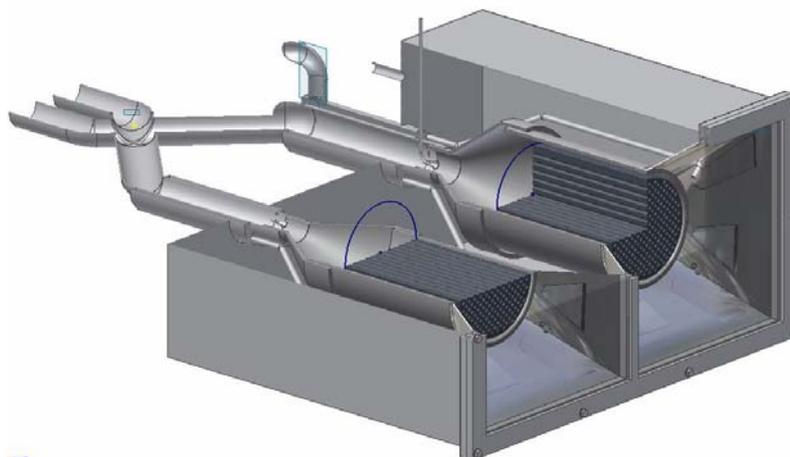


Tabla 3.2 Detalle del dispositivo de alojamiento de los reactores de activación e hidrólisis utilizados en Hydrosol-II.

torre, la única que puede ser adaptada para este uso. Actualmente existen desarrollos, muchos de ellos probados conjuntamente por DLR y CIEMAT en las instalaciones de la PSA, que permiten operar con receptores volumétricos a temperaturas por encima de 1.000°C. La motivación del proyecto Hydrosol-II es la confianza de poder trasladar la experiencia acumulada en el desarrollo de materiales y sistemas con matrices catalíticas utilizando SiC con canales monolíticos que fueron validados con éxito durante el proyecto SOLAIR. La impregnación de estas matrices cerámicas con ferritas mixtas permitiría utilizar el concepto de receptor/reactor volumétrico para su uso en la producción de hidrógeno. La posibilidad de utilizar este reactor monolítico con la ferrita fijada a un substrato facilita en gran medida la separación del oxígeno y el hidrógeno al realizarse en etapas alternantes de carga y descarga.

Objetivos: La segunda fase de dicho proyecto (Hydrosol-II) comenzó en noviembre de 2005 y su objetivo es la demostración en un reactor de 100 kW en la Plataforma Solar de Almería de la producción de H₂ a partir de ferritas mixtas de Zn impregnadas sobre matrices cerámicas de SiC. La novedad de este diseño se centra en la utilización de un modo de operación discontinuo en los procesos de carga y descarga. La etapa endotérmica es realizada con iluminación solar, de manera que el foco con alto flujo de radiación solar generada por un campo de helióstatos se mueve alternativamente de unas matrices a otras para permitir posteriormente la etapa de descarga de H₂.

Tabla 3.1 Los objetivos cuantitativos de Hydrosol-II

| Objetivos operacionales del reactor/receptor solar | |
|---|---------------------------------|
| Temperatura de disociación de agua | 800-900 °C |
| Temperatura etapa de regeneración | ≤ 1200 °C |
| Conversión agua a hidrógeno | ≥ 90 % |
| Número de ciclos de operación | ≥ 50 |
| Etapas producción hidrógeno/regeneración | Simultáneamente en reactor dual |
| Objetivos a medio-largo plazo | |
| Coste producción hidrógeno solar en 2006 | ≤ 12 cents/kWh |
| Coste producción hidrógeno solar en 2020 | ≤ 6 cents/kWh |

Resultados alcanzados en 2006: En el año 2006 CIEMAT ha estado fundamentalmente centrado en la definición de la planta piloto a instalar en la torre CRS-SSPS de la PSA. El emplazamiento seleccionado para la instalación se ubica en la plataforma a nivel de 32 m de la torre CRS, donde se alojará el sistema dual de reactores, así como los sistemas periféricos de medida y control. Se ha diseñado un cerramiento para el sistema y una estructura soporte para el banco de ensayos, así como la selección de acometidas, cableados, gases auxiliares y generador de vapor. Una de las labores más importantes ha sido definir una estrategia de apunte del campo de helióstatos que permita la operación simultánea de los reactores de carga y de descarga. Después de un proceso de análisis y simulación utilizando el código FiatLux, se ha podido comprobar que sí es posible seleccionar estrategias con el campo CRS que reproduzcan todas las condiciones de flujo de radiación necesarias para las distintas etapas.

Tabla 3.3 Las condiciones de flujo y potencia necesarias para las etapas de regeneración, disociación de agua y calentamiento del reactor

| | <i>FLUJO</i> | <i>POTENCIA TOTAL</i> |
|---------------|-----------------------|-----------------------|
| REGENERACIÓN | 360 kW/m ² | 70 kW |
| DISOCIACIÓN | 110 kW/m ² | 20 kW |
| CALENTAMIENTO | 500 kW/m ² | 100 kW |

El banco de ensayo incluye un sistema dual con dos reactores tal y como se representa en la Tabla 3.2. Para poder conseguir las condiciones de regeneración y disociación simultáneamente ha sido necesario optimizar la separación entre ambas aperturas. Las condiciones más desfavorables se presentarían cuando uno de los reactores esté en fase de calentamiento (500 kW/m²) y el otro en disociación (110 kW/m²). Se ha podido determinar que una separación de 1,3 m es suficiente para mantener independizado el funcionamiento de los dos reactores.

3.4.7 SolarPRO

Tratamiento superficial y síntesis de materiales. Desarrollo de un sistema de aporte de calor a partir de radiación solar concentrada: ensayo y caracterización de su aplicación a diversos procesos productivos y de eliminación de residuos a alta temperatura.

Participantes: CIEMAT, Universidad de Sevilla, Instituto de Tecnología Cerámica, Universidad Politécnica de Cataluña

Contacto: Diego Martínez; diego.martinez@psa.es

Financiación: Proyecto financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología, dentro del marco del Plan Nacional de I+D+I (2003-2006). Presupuesto total: 370,6 k€. Presupuesto CIEMAT: 176,6 k€.

Duración: 15 de noviembre de 2003 – 14 de noviembre de 2006

Motivación: La energía solar térmica es la energía renovable que por sus características, debe adquirir un papel relevante en el sector industrial pues permite obtener, de forma directa o mediante su transferencia a un fluido o a

un material absorbedor, la energía térmica necesaria para muchos procesos industriales, pudiendo suministrar calor de proceso solar a distintos niveles de temperatura.

Los procesos industriales que generalmente requieren un mayor aporte energético son aquellos que se producen a alta temperatura. Para la futura implantación de la tecnología solar térmica de concentración en procesos industriales de alta temperatura es necesario un fuerte impulso en la investigación y demostrar para cada proceso particular, su viabilidad tecnológica, ajustando los parámetros de diseño y producción.

Objetivos: El objeto de 'SolarPRO' es demostrar la viabilidad tecnológica del uso de la energía solar térmica como sistema de aporte energético en diferentes procesos industriales cuyo denominador común es la alta temperatura. Así, los procesos estudiados en este proyecto se clasifican básicamente en dos grupos:

- Procesos de producción industrial.
- Procesos de tratamiento de residuos.

Tabla 3.4 Los procesos inicialmente seleccionados los siguientes:

| Procesos típicos de la industria de la cerámica | | |
|---|--------------------|--|
| Secado de piezas crudas | 100°C < T < 200°C | Cámara de secado con receptor volumétrico |
| Tercer fuego para obtener ciertos tipos de decoración | 800°C < T < 900°C | Cámara de cocción con receptor volumétrico |
| Cocción de baldosas cerámicas | 850°C < T < 1150°C | Cámara de cocción con receptor volumétrico |
| Procesos pulvimetalúrgicos | | |
| Sinterizado de metales | T~ 1000°C | Cámara de atmósfera controlada |
| Tratamiento de residuos | | |
| Procesos de eliminación de metales pesados en suelos contaminados | T < 630°C | Horno rotatorio solar |

Resultados alcanzados en 2006: Durante el periodo de ejecución de este proyecto se han diseñado, desarrollado y construido paralelamente tres reactores diferentes, innovadores, basados en distintas tecnologías, además de distintos prototipos y dispositivos de ensayos para aplicaciones específicas. Paralelamente se han desarrollado sus propios programas de adquisición de datos y de control, se han ampliado y mejorado instalaciones, se han puesto en operación y se han caracterizado los diferentes reactores, y se han realizando diferentes campañas para cada uno de los diferentes procesos estudiados en 'SolarPRO'.

Así, el estado actual de los diferentes procesos es el siguiente:

- Procesos cerámicos: se ha desarrollado una planta de proceso con receptor volumétrico abierto que permite el secado y cocción de baldosas cerámicas, habiéndose realizado hasta ahora ciclos completos de secado de baldosas cerámicas así como ciclos de cocción de baldosas de media temperatura (850°C), estando a la espera de abordar en breve ciclos de mayor temperatura, así como ensayos de 'tercer fuego'.
- Tratamiento de residuos: se ha realizado una campaña preliminar para la desorción térmica de suelos contaminados en el reactor lecho fluidizado, que permite un tratamiento homogéneo de las muestras. En 2007 se realizarán nuevas campañas en un horno rotatorio solar.
- Procesos pulvimetalúrgicos: se ha sinterizado metales en atmósfera controlada mediante el uso del reactor lecho fluidizado (adquirido mediante Fondos Feder concedidos paralelamente a esta convocatoria y

diseñado conjuntamente con el CENIM). Por las características con las que fue diseñado, el reactor lecho fluidizado solar permite trabajar en su interior con atmósfera controlada, siendo el aporte energético mediante energía solar concentrada. Esto nos ha permitido utilizarlo sin fluidificar como cámara de atmósfera controlada, obteniendo calor de proceso en aire y en diferentes gases a temperaturas superiores a los 800°C, aplicable a tratamientos térmicos como el sinterizado.



Figura 3.26 Reactor lecho fluidizado en operación en el Horno Solar de PSA

Por tanto, SolarPRO ha permitido:

- demostrar la viabilidad tecnológica de utilizar la energía solar térmica como sistema de aporte energético en diferentes procesos industriales de alta temperatura.
- identificar posibles nuevos procesos susceptibles de recibir aporte energético por vía solar.
- obtener experiencia y conocimiento suficiente como para abordar una segunda fase el proyecto a escala preindustrial.

Adicionalmente han sido firmados dos acuerdos de colaboración con distintas instituciones para el desarrollo de nuevos procesos y reactores para el tratamiento de materiales mediante energía solar concentrada relacionados con este proyecto:

- Acuerdo Específico de Colaboración entre el Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas, (CIEMAT), y el Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, (CENIM), denominado "Tratamiento térmico de materiales metálicos mediante energía solar concentrada y Caracterización de concentradores solares", (2006-2008).
- Acuerdo Específico de Colaboración entre el Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas, (CIEMAT), y la Universidad Politécnica de Madrid denominado "Estudio de viabilidad del uso de la radiación solar concentrada para la fabricación de espumas de aluminio" (2005-2007)

Publicaciones: [3.29] [3.31]

3.5 Referencias

- [3.1] G. San Vicente, R. Bayón and A. Morales, "Effect of additives on the durability and properties of antireflective films for solar glass covers" 13th International Symposium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies, June 20-23th, Seville, Spain, FA1-P.1 Poster contribution
- [3.2] R. Bayón, G. San Vicente, C. Maffiotte and A. Morales, "Preparation of selective absorbers based on CuMn-spinels by dip-coating, E-MRS IUMRS ICEM 2006 Spring Meeting, Nice, 29/5-2/6 2006,pg M-16
- [3.3] R. Bayón, G. San Vicente, C. Maffiotte and A. Morales, "Development of solar absorbers based on spinel-type materials deposited by dip-coating, 13th International Symposium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies, June 20-23th, Seville, Spain, FA1-S.2 Oral contribution
- [3.4] Fernández, A., Rojas, E., Pérez, M., Zarza, E., León, J. (2006) Coletores solares cilindro parabólicos para el suministro de energía térmica hasta 250°C. *Conferencia internacional sobre energías renovables y tecnologías del agua (CIERTA 2006)*. Almería, España, Octubre. pp. SIS 161-168; ISBN 84-933658-3-1
- [3.5] Rojas, E., Fernández, A., Zarza, E. (2006) Theoretical evaluation of parabolic trough designs for industrial applications. *Actas del 13 International Symposium on Solar Power and Chemical Energy System*. ISBN 84-7834-519-1, Edit. Romero, M., Martínez, D., Ruiz, V., Silva, M., Brown, M.
- [3.6] Ortega, J.I., J.I. Burgaleta, and F.M. Téllez. "Central Receiver System (CRS) Solar Power Plant using Molten Salt as Heat Transfer Fluid". in *SolarPACES: 13th International Symposium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies*. 2006. Sevilla, SP.
- [3.7] Lata, J.M., M. Rodríguez, and M. Álvarez de Lara. HIGH FLUX CENTRAL RECEIVERS OF MOLTEN SALTS FOR THE NEW GENERATION OF COMMERCIAL STAND-ALONE SOLAR POWER PLANTS. in *SolarPACES: 13th International Symposium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies*. 2006. Sevilla, SP.
- [3.8] J. Ballestrín, C. A. Estrada, M. Rodríguez-Alonso, C. Pérez-Rábago, A. Barnes, L. W. Langley "Heat flux sensors: calorimeters or radiometers?". *Solar Energy*, Vol. 80/10, pp. 1314-1320, 2006 ISSN: 0038-092X .
- [3.9] J. Ballestrín, M.Rodríguez-Alonso, J. Rodríguez, I. Cañadas, F. J. Barbero, L. W. Langley, A. Barnes "Calibration of high-heat-flux sensors in a solar furnace". *Metrologia (Institute of Physics)*, Vol. 43, pp. 495 - 500, 2006. ISSN: 0026-1394
- [3.10] J. Ballestrín y R. Monterreal. Patente nacional P200302820: "Dispositivo de medida de potencia radiante para superficies extensas y método de operación". CIEMAT. 2006.
- [3.11] J. Ballestrín, M. Rodríguez-Alonso "Proyecto MEPSOCON: Calibración de radiómetros de alta irradiancia solar". Publicación CIEMAT 1097. ISSN: 1135 - 9420. Diciembre 2006.
- [3.12] J. Fernández-Reche, I. Cañadas, M. Sánchez, J. Ballestrín, L. Yebra, R. Monterreal, J. Rodríguez, G. García, M. Alonso, F. Chenlo "PSA Solar Furnace: A facility for testing PV cells under concentrated solar radiation". *Solar Energy Materials & Solar Cells (NORTH-HOLLAND)*, Vol. 90, pp. 2480-2488, 2006. ISSN: 0927-0248
- [3.13] J. Ballestrín, M.Rodríguez-Alonso, J. Rodríguez, I. Cañadas, F. J. Barbero, L. W. Langley, A. Barnes "Calibration of Heat Flux Sensors with Concentrated Solar Radiation", XIII SolarPACES International Sympos-

- sium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies. Sevilla, Spain (Junio 20-23, 2006). ISBN: 84-7834-519-1
- [3.14] D. Hernández, J. Ballestrín, A. Neumann "First work by the Flux and Temperature Measurement Group (F.T.M.) in the SOLLAB laboratory alliance", XIII SolarPACES International Symposium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies. Sevilla, Spain (Junio 20-23, 2006). ISBN: 84-7834-519-1
- [3.15] J. Fernández-Reche, M. Sánchez, M. Alonso, I. Cañadas, F. Chenlo, J. Rodríguez, J. Ballestrín "Concentrating PV: An Alternative to Calorimeters for Measuring High Solar Flux Densities", XIII SolarPACES International Symposium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies. Sevilla, Spain (Junio 20-23, 2006). ISBN: 84-7834-519-1
- [3.16] M. Pfänder, D. Hernández, A. Neumann, E. Lüpfer, W. Lipinski, H. Tschudi, J. Ballestrín "Solar blind pyrometric temperature measurement under concentrated solar irradiation", XIII SolarPACES International Symposium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies. Sevilla, Spain (Junio 20-23, 2006). ISBN: 84-7834-519-1
- [3.17] J. Rodríguez, I. Cañadas, J. Fernández, R. Monterreal, J. Ballestrín, F. Téllez, L. Yebra "The PSA solar furnace. A test facility ready to characterize high-concentration solar devices from solar thermal applications to PV cells", XIII SolarPACES International Symposium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies. Sevilla, Spain (Junio 20-23, 2006). ISBN: 84-7834-519-1
- [3.18] Fernández-Reche J. Standard to measure Incident Solar Distribution and Power in PV Cell Surfaces. A proposal. Informe Interno HiConPV. Diciembre 2006.
- [3.19] F. Sánchez Moreno: "Medida Infrarroja durante ensayo 14.12.06 en PS10". Informe Ciemat Ref. PS10 -TE - CS - 02, Dic. 2006
- [3.20] F. Téllez: "Análisis de Idoneidad de emplazamiento para Planta Electro-solar Solar Tres". Informe Ciemat Ref. SolarTRES -TE - CS - 02, Dic. 2006
- [3.21] F. Sánchez Moreno: "Adquisición de imágenes de radiación concentrada en HICONPV". Informe Ciemat Ref. HICONPV -TE - CS - 01, Enero 2007.
- [3.22] Le Naour F., Sattler C., Tarquini P., Ewan B., Buenaventura A., Romero M., Wilkenning H., Stein W. (2005). "Innovative high temperature routes for hydrogen production - State of art and strategy in Europe" Proceedings of the Second European Hydrogen Energy Conference. 22-25 November 2005. Zaragoza, Spain. pp.647.
- [3.23] Trommer D., F. Noembrini, M. Fasciana, D. Rodriguez, A. Morales, M. Romero, A. Steinfeld (2005), "Hydrogen production by steam-gasification of petroleum coke using concentrated solar power - I. Thermodynamic and kinetic analyses", International Journal of Hydrogen Energy 30 (2005) 605 - 618.
- [3.24] Graggen A.Z., P. Haueter, D. Trommer, A. Steinfeld, Manuel Romero, Juan C. de Jesús (2006), "Hydrogen Production by Steam-Gasification of Petroleum Coke using Concentrated Solar Power. -II. Reactor Design, Testing, and Modeling". International Journal of Hydrogen Energy 31 (6), pp. 797-811
- [3.25] Z'Graggen A., P. Haueter, Gilles Maag, A. Vidal, M. Romero, A. Steinfeld. "Hydrogen production by steam-gasification of petroleum coke using concentrated solar power - reactor experimentation with slurry feeding". M. Romero, D. Martínez, V. Ruiz, M. Silva, M. Brown (Eds.)

- (2006). Proceedings of 13th International Symposium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies, Seville, Spain, June 20-24, 2006. Pub. CIEMAT. ISBN: 84-7834-519-1.
- [3.26] Vidal A., Romero M., Kritter F., Steinfeld A. (2006). "Solar Thermochemical Production of Syngas from Petroleum Coke: Feasibility Study for Injection of Coke Slurries". Proceedings WHEC (World Hydrogen Energy Conference) 16 / 13-16 June 2006 – Lyon, France
- [3.27] Z'Graggen A., Haueter P., Maag G., Vidal A., Romero M., Steinfeld A. (2006) "Hydrogen Production by Steam-Gasification of Petroleum Coke Using Concentrated Solar Power – Reactor Experimentation with Slurry Feeding". Manuscript ISEC2006-99029. Proceedings of ISEC2006; ASME International Solar Energy Conference; July 8-13, 2006, Denver, USA.
- [3.28] José L. García-Fierro, Carmen González, David Serrano, Germán Penelas, Manuel Romero, Maria J. Marcos, Cristina Rodríguez. Clean hydrogen production. Carbon dioxide free alternatives. Project Phisico2. M. Romero, D. Martínez, V. Ruiz, M. Silva, M. Brown (Eds.) (2006). Proceedings of 13th International Symposium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies, Seville, Spain, June 20-24, 2006. Pub. CIEMAT. ISBN: 84-7834-519-1.
- [3.29] Cañadas, I.; Téllez, F.; Rodríguez, J.; Martínez, D. "SOLARPRO': A survey of feasible high temperature industrial applications of concentrated solar energy". Proceedings of 13th International Symposium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies. ISBN: 84-7834-519-1. Seville (Spain) 20-23 June 2006
- [3.30] Cañadas, I.; Martínez, D.; Téllez, F.; Rodríguez, J. "Feasibility Use of Solar Thermal Energy in High Temperature Industrial Processes" Proceedings of International Conference On Renewable Energies and Water Technologies. Roquetas de Mar - Almería (Spain). 6-8 Octubre 2006
- [3.31] Cañadas, I.; Martínez, D.; Rodríguez, J.; Fernández-González, B. J.; Vázquez-Vaamonde, A. J. "Procesamiento en Lechos Fluidizados Calentados con Energía Solar Concentrada": Proceedings of XIII Congreso Ibérico e VIII Ibero Americano de Energía Solar. Lisbon (Portugal). 9-10 November, 2006
- [3.32] LEG Cambronero, JM Ruiz Román, I. Cañadas, D. Martínez. Características de la estructura celular en espumas de al-7si con mármol obtenidas mediante energía solar concentrada. Congreso: IX Congreso Nacional de Materiales. Perspectiva de la investigación sobre materiales en España en el Siglo XXI. IX Congreso Nacional de Materiales. ISBN 84-8158-323-5 – ISBN 84-8158-324-3 (CDRom) Vigo (España) 20-22 Junio 2006
- [3.33] R. Román, I. Cañadas, J. Rodríguez, M.T. Hernández, M. González; Solar Sintering of Ceramics: Microstructural Development of Alumina; 11th International Ceramics Congress and 4th Forum on New Materials; Proceedings of 11th International Ceramics Congress and 4th Forum on New Materials; Sicilia (Italia) 4-9 junio 2006
- [3.34] J. Rodríguez, I. Cañadas, J. Fernández, R. Monterreal, J. Ballestrín, F. Téllez, L. Yebra; The psa solar furnace, a test facility ready to characterize high-concentration solar devices from solar thermal applications to pv cells; 13th International Symposium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies; Proceedings of 13th International Symposium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies. ISBN: 84-7834-519-1; Sevilla (España); 20-23 Junio 2006

- [3.35] David Lacasa, Manuel Berenguel, Inmaculada Cañadas, Luis Yebra; Modelling the thermal process of copper sintering in a solar furnace; 13th International Symposium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies; ISBN: 84-7834-519-1; Sevilla (España); 20-23 Junio 2006
- [3.36] Sánchez M., Romero M. (2006) "Methodology for generation of heliostat field layout in central receiver systems based on yearly normalized energy surfaces", *Solar Energy*, 80, pp 861-874.
- [3.37] R. Osuna, M. Romero, et al. "PS10, construction of a 11MW solar thermal tower plant in Seville, Spain" M. Romero, D. Martínez, V. Ruiz, M. Silva, M. Brown (Eds.) (2006). Proceedings of 13th International Symposium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies, Seville, Spain, June 20-24, 2006. Pub. CIEMAT. ISBN: 84-7834-519-1.
- [3.38] Palero S., Romero M., Castillo J.L. "Comparison of experimental and numerical air temperature distributions behind a cylindrical volumetric solar absorber module". M. Romero, D. Martínez, V. Ruiz, M. Silva, M. Brown (Eds.) (2006). Proceedings of 13th International Symposium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies, Seville, Spain, June 20-24, 2006. Pub. CIEMAT. ISBN: 84-7834-519-1.
- [3.39] Xavier Pelet, Daniel Favrat, Marcelino Sanchez, Manuel Romero, "Design of heliostat fields using a multiobjective evolutionary algorithm". M. Romero, D. Martínez, V. Ruiz, M. Silva, M. Brown (Eds.) (2006). Proceedings of 13th International Symposium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies, Seville, Spain, June 20-24, 2006. Pub. CIEMAT. ISBN: 84-7834-519-1.

4 Unidad de Aplicaciones Medioambientales de la Energía Solar y Caracterización de la Radiación Solar

Responsable: Julián Blanco Gálvez

Contribuciones: Sixto Malato Rodríguez
Pilar Fernández Ibáñez
Manuel Ignacio Maldonado Rubio
Benigno Sánchez Cabrero
Juan Coronado Carneiro
Silvia Suarez Gil
Wolfgang Gernjak
Diego Alarcón Padilla
Lourdes Ramírez Santigosa
Luis Zarzalejo Tirado
Jesús Polo Martínez

4.1 Introducción

El año 2006 ha sido un año de importante consolidación para la Unidad de "Aplicaciones Medioambientales de la Energía Solar y Caracterización de la Radiación Solar", que ha visto como se ha incrementado, de forma progresiva y continua, su actividad investigadora durante los últimos años, dentro de las siguientes líneas de actividad que configuran la Unidad:

- Procesos de detoxificación y desinfección solar de agua
- Procesos de detoxificación solar en fase gas
- Procesos de desalinización solar de agua de mar
- Caracterización y medida de la radiación solar

Durante el año 2006 se han negociado y firmado un total de 7 nuevos proyectos europeos y un proyecto nacional *Consolider* en los que participa activamente la Unidad, siendo además coordinados por el grupo dos de estos proyectos. Esto ha supuesto también un incremento importante del personal asociado a la Unidad, especialmente en el número de becarios de doctorado. La composición del grupo, a 31 de diciembre de 2006, estaba constituida por un total de 23 personas, con el siguiente desglose: 6 investigadores funcionarios, 6 investigadores contratados, 7 becarios de doctorado (3 de ellos no es-

pañoles) y 4 técnicos de laboratorio. Desde el punto de vista presupuestario, los ingresos de la Unidad se han incrementado ligeramente sobre la media de años anteriores.

El entorno en el que se debe ubicar este incremento continuo de actividad es el del crecimiento del interés, tanto por parte de instituciones y convocatorias de programas de investigación como por parte de multitud de empresas, hacia las aplicaciones de la energía solar a procesos y aplicaciones del agua, de manera específica, o aplicaciones medioambientales, en general.

Este interés está claramente justificado por el convencimiento de muchos de la gravedad del problema del agua a nivel tanto global como local en multitud de sitios del planeta, incluido nuestro país. Dada la problemática, igualmente importante, que existe sobre la energía y la necesidad de evolucionar hacia modelos energéticos sostenibles no basados en el petróleo, se llega a la conclusión clara de que los problemas del agua de mañana (que todos los indicios apuntan a que serán mucho más graves que los actuales), no van a poder ser solucionados con la energía de hoy. Dado que, además, en aquellos lugares en los que estos problemas son más acuciantes normalmente se dispone de un buen nivel de irradiación solar, el desarrollo de tecnologías innovadoras que ayuden de una forma sostenible a la resolución de dichos problemas es algo que resulta no solo ya adecuado, sino de todo punto imprescindible. El desarrollo de este tipo de tecnologías es el objetivo fundamental de la Unidad.

A continuación se describen las principales actividades desarrolladas durante 2006 dentro de cada uno de los distintos grupos y líneas de investigación y desarrollo tecnológico anteriormente indicados.

4.2 Grupo de Detoxificación y Desinfección de Aguas

La creciente preocupación existente desde los últimos años por los temas relacionados con el medioambiente y la contaminación, ha desembocado en la búsqueda de nuevos métodos más eficientes para la eliminación de las sustancias contaminantes existentes en el agua. Entre ellos, la utilización de la radiación solar como fuente para el desarrollo de procesos físicos y químicos aparece en la actualidad como una vía prometedora para el tratamiento de contaminantes tóxicos y la desinfección del agua.

2006 ha sido un año especialmente relevante para el grupo de "Detoxificación y Desinfección de Aguas" ya que ha supuesto una consolidación importante de las actividades que se vienen llevando a cabo desde hace 15 años. Buena prueba de ello ha sido la puesta en marcha durante 2006, de un total de 4 proyectos europeos (VI Programa Marco de la Comisión Europea), más otros tres del Programa Nacional de I+D, además del Plan de Acceso Nacional que por su importancia tanto científica como económica podía considerarse con un peso relativo equivalente a varios proyectos nacionales. Cabe reseñar que de estos últimos, uno de ellos pertenece al Programa Ingenio 2010 (CONSOLIDER), proyecto de excelencia del MEC que se han convocado por primera vez en 2006 y de los que se han concedido únicamente quince para toda la ciencia española. El grupo está involucrado en el único proyecto CONSOLIDER dedicado a tratamiento de aguas. Detalles de cada uno de ellos se recogen en las siguientes páginas.

Es necesario remarcar que este nivel de actividad es el más elevado (y exigente) en toda la historia del grupo. La producción científica en 2006 se puede resumir en lo siguiente: 2 Tesis Doctorales defendidas (dirigidas por miembros

del grupo), 4 Tesis Doctorales en marcha, 12 artículos en revistas con índice de impacto (más otros 22 aceptados o en fase de revisión) y 29 comunicaciones (12 de ellas orales o invitadas) a 9 Congresos Internacionales. Es de esperar que este nivel aumente en los próximos años aprovechando los resultados de todos los proyectos que están empezando en estos momentos.

4.2.1 FOTODETOX

Eliminación de contaminantes persistentes mediante oxidación avanzada.

<http://www.psa.es/webesp/projects/fotodetox/index.html>

Participantes: Dep. Ing. Química/Univ. Almería; Dept. Ing. Textil/Univ. Politécnica Valencia; CIEMAT-PSA (coordinator).

Contacto: Dr. S. Malato, sixto.malato@psa.es

Financiación: Plan Nacional de I+D+I, MEC. Presupuesto CIEMAT: 80 K€ + 1 Beca Doctorado FPI.

Duración: Diciembre 2003 – Diciembre 2006

Motivación: Tratamiento de aguas conteniendo plaguicidas mediante la combinación de tratamiento biológicos y fotocatalíticos.

Objetivos:

- 1) Tratamiento de aguas conteniendo plaguicidas mediante procesos fotocatalíticos solares (foto-Fenton y TiO_2) en planta piloto. Obtención de los parámetros óptimos de operación.
- 2) Estudio de la biodegradabilidad mediante cultivos monoespecíficos de bacterias (seleccionados de entre aquellos habituales en las EDAR) de aguas contaminadas con plaguicidas y tratadas parcialmente mediante fotocatalisis. Se evaluarán qué cepas de bacterias se muestran más activas en biodegradabilidad de contaminantes.
- 3) Desarrollo de modelos para predecir la biodegradabilidad de aguas tratadas parcialmente mediante fotocatalisis.
- 4) Estudio de la biodegradabilidad (mediante fangos activados reales procedentes de diferentes EDAR) de aguas contaminadas con plaguicidas y tratadas parcialmente mediante fotocatalisis.
- 5) Desarrollo de un biorreactor especialmente adaptado a este tipo de aguas tratadas parcialmente mediante fotocatalisis.
- 6) Prediseño de una planta de tratamiento de aguas, mediante fotocatalisis solar, con el objetivo de pre-tratar aguas conteniendo contaminantes persistentes y hacerlas compatibles con los requerimientos de entrada de una EDAR municipal.

Objetivos alcanzados en 2006: Durante 2004 y 2005 (ver Informes Anuales de la PSA, 2004 y 2005) se cumplieron los objetivos previstos y durante 2006 se han abordado principalmente las tareas relacionadas con objetivos 4, 5 y 6.

Los procesos biológicos constituyen una de las técnicas de tratamiento más sencillas y económicas, y por tanto puede tener pleno sentido su acoplamiento con foto-Fenton debido a que la degradación de contaminantes no biodegradables normalmente trae aparejada tanto la reducción de la toxicidad como al aumento de la biodegradabilidad. Existen diferentes parámetros para estimar o medir la biodegradabilidad de un agua determinada. Nuestra propuesta es la combinación de diferentes técnicas de análisis rápido (DQO, COT, toxicidad)

que puedan permitir tomar esa decisión. Incluso se puede plantear que cuando una planta esté funcionando de manera continuada la experiencia del operador le permita tomar esa decisión con únicamente uno de los anteriores parámetros.

A continuación planteamos la metodología de trabajo para poder prever que un agua es biodegradable mediante técnicas rápidas. Uno de estos parámetros es el denominado Estado de Oxidación Medio (EOM, denominado en inglés "Average Oxidation State", AOS), que se puede calcular mediante la ecuación siguiente, donde el COT (Carbono Orgánico Total) y la DQO (Demanda Química de Oxígeno) están expresados en moles de C L⁻¹ y moles de O₂ L⁻¹, respectivamente.

$$AOS = 4 \times \left(\frac{COT - DQO}{COT} \right)$$

El AOS varía en función del tiempo de tratamiento e indica el grado de oxidación de los distintos compuestos orgánicos existentes en el agua y, cuando es aplicado a procesos de Oxidación Avanzada, puede servir para determinar el momento óptimo de transferencia a un tratamiento biológico. En la Figura 4.1 puede apreciarse que, después de un periodo inicial en el que crece rápidamente, se alcanza una fase en la que el AOS crece ya muy lentamente, lo que sugiere que la naturaleza química de los compuestos intermedios generados no varía significativamente. Por tanto, de alcanzarse la biodegradabilidad debe ser antes o en el preciso instante en el que el AOS se estabiliza.

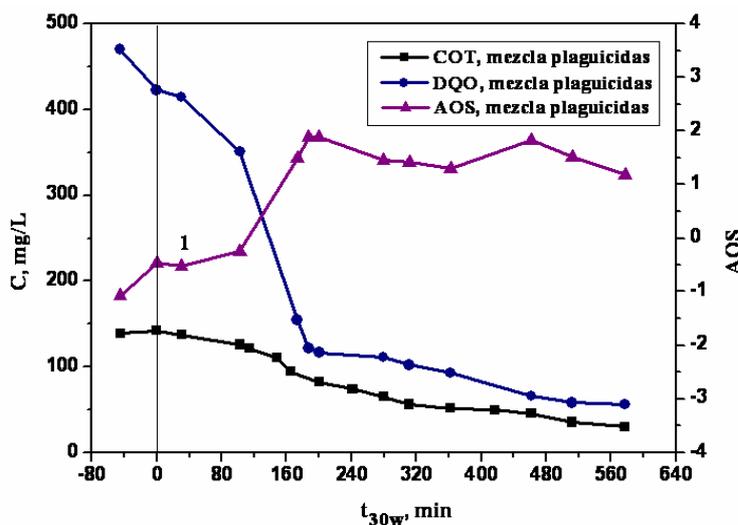


Figura 4.1 Degradación de mezcla de plaguicidas (50 mg/L cada uno) mediante foto-Fenton a 20 mg/L de Fe²⁺.

Evidentemente, las conclusiones anteriores, contenidas en [4.14, 4.21, 4.27] no bastan para poder asegurar la biodegradabilidad de un agua pretratada con procesos solares. Es necesaria la aplicación de metodologías específicas para evaluar la biodegradabilidad real. Como éstas son lentas (días o semanas) es conveniente elegir las muestras para su aplicación a partir de datos de toxicidad, DQO y COT, que son medidas muy rápidas (minutos u horas), con la estrategia ya comentada. La metodología desarrollada en el proyecto se ha seguido para evaluar dos aguas residuales de diferente composición (industrial una y la otra conteniendo plaguicidas de la lista de "priority substances" de la UE) con un resultado que avala la metodología propuesta [4.26, 4.33].

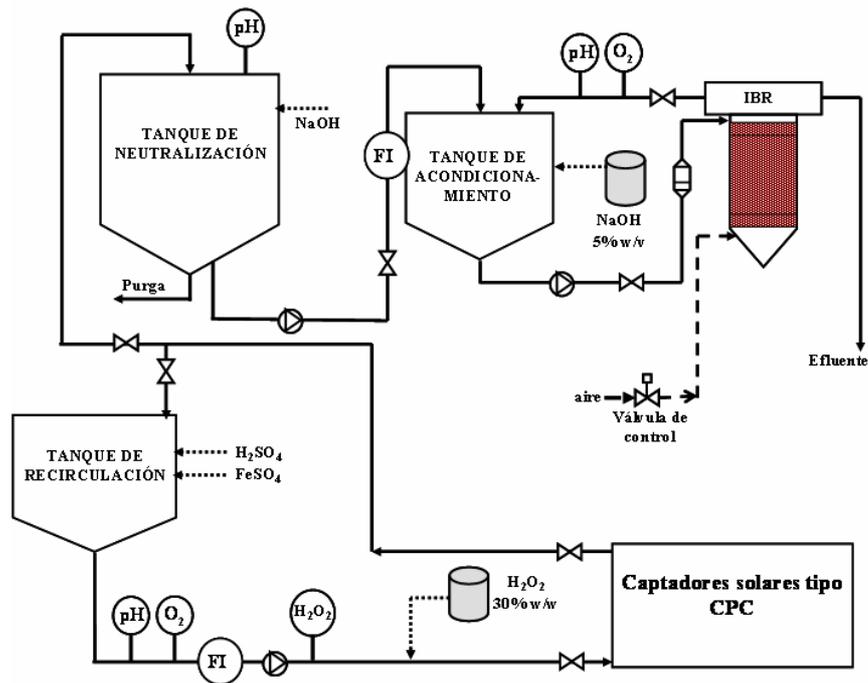


Figura 4.2 Diseño conceptual de tratamiento de aguas residuales tóxicas y/o biorecalcitrantes mediante foto-Fenton (radiación solar utilizando captadores solares tipo CPC) acoplado con tratamiento biológico en reactor de lecho inmovilizado.

A partir del análisis global de los resultados se ha abordado el pre-diseño de una planta de tratamiento de aguas, mediante fotocatalisis solar (proceso de foto-Fenton), con el objetivo de tratar aguas conteniendo contaminantes persistentes y hacerlas compatibles con los requerimientos de entrada de un bioreactor. En este caso se plantean dos alternativas. Por un lado verter sobre una EDAR o bien acoplar un reactor biológico en serie con el fotorreactor. La Figura 4.2 muestra la segunda de estas posibilidades. La posibilidad de vertido sobre EDAR se tendría mediante el efluente de salida del tanque de neutralización.

4.2.2 CADOX

Tratamiento de aguas conteniendo contaminantes orgánicos persistentes mediante combinación de procesos de oxidación avanzada y biológicos.

<http://www.psa.es/webeng/projects/cadox/index.html>

Participantes: CIEMAT-PSA (Coord., E). ECOSYSTEM S.A. (E). AOSOLLda (P). UNIV. AUTÓNOMA DE BARCELONA (E). INETI (P). TRAILIGAZ Compagnie Générale de l'Ozone (F). JANSSEN PHARMACEUTICA N.V. (B). EPFL (CH). DSM DERETIL S.A. (E).

Contacto: Dr. S. Malato, sixto.malato@psa.es

Financiación: EC (Energy, Environment and Sustainable Development Programme); 1.200 k€ (+ 260 k€ of Suiza).

Duración: Febrero 2003 – Julio 2006

Motivación: Uno de los problemas más alarmantes que acucian a los recursos hídricos es la acumulación de sustancias antropogénicas difícilmente biodegradables, debido a la falta de técnicas adecuadas para tratar sustancias que presentan propiedades tóxicas crónicas o agudas. La incapacidad de los métodos tradicionales biológicos hace que sean necesarios nuevos sistemas de tratamiento. El cada vez más riguroso control de la contaminación y la legislación correspondiente ha supuesto una intensa búsqueda de soluciones en el campo de las tecnologías de tratamiento de aguas.

En este contexto, se ha demostrado que la oxidación parcial de estas sustancias nocivas mediante POAs (Procesos de Oxidación Avanzados) puede aumentar apreciablemente la biodegradabilidad de las aguas que las contienen. Pero a pesar de eso, los costes de estos tratamientos siguen siendo caros (decenas de €/m³). La utilización de POAs como pre-tratamiento a un tratamiento biológico que suele ser mucho más barato se presenta como una opción atractiva. En el mismo sentido, los POAs que puedan llevarse a cabo mediante una fuente de energía renovable y barata (el Sol) también pueden contribuir a solucionar el problema.

Objetivos: El proyecto CADOX, concluido en Julio de 2006, ha estado encuadrado en este contexto del tratamiento de aguas en la UE. Se han conseguido prácticamente todos los objetivos planteados al inicio del proyecto (ver Informe Anual de la PSA de 2003).

Objetivos alcanzados en 2006: Los principales logros de l proyecto en su conjunto se pueden resumir como sigue:

- La fotocatalisis mediante TiO₂ y el proceso de foto-Fenton (POAs) son dos métodos de tratamiento adecuados para descontaminar agua conteniendo plaguicidas solubles, lográndose además mejorar sustancialmente su biodegradabilidad.
- El proceso de foto-Fenton as adecuado para descontaminar aguas conteniendo disolventes clorados (como dicloroetano, diclorometano y cloroformo), que sin embargo no son tratados adecuadamente mediante TiO₂ u ozono (otros métodos de tratamiento ensayados durante el proyecto CADOX). Además, en ningún momento se consigue mejorar su biodegradabi-



Figura 4.3 Vista general de la planta de demostración instalada en el proyecto CADOX en las instalaciones de DSM-Deretil (Villaricos, Almería).

lidad mediante POAs sino que el tratamiento debe continuar hasta su eliminación completa.

- Se han desarrollado nuevos captadores solares para llevar a cabo procesos fotocatalíticos que disponen de tubos absorbedores de mayor diámetro, lo que permite reducir la cantidad catalizador necesaria.
- La tecnología desarrollada en el proyecto CADOX puede ser adaptada a muy diferentes tipos de aguas residuales no biodegradables, pero siempre mediante estudios previos específicos en cada caso.
- Una planta de demostración incluyendo ozonización, foto-Fenton y biotratamiento ha sido diseñada, construida y ensayada. El acoplamiento entre los diferentes procesos se ha demostrado y por tanto se ha podido realizar un estudio económico de-tallado.
- El coste total (incluyendo coste de inversión, operación etc.) por m³ tratado de efluentes conteniendo 1kg/m³ (2.0 g COD/L, aprox.) de compuestos biorecalcitrantes es de unos 7 €/m³. Los costes para aguas conteniendo una carga orgánica inferior serán sensiblemente menores.
- Los resultados del Análisis de Ciclo de Vida (ACV, más conocido por su acrónimo inglés LCA) muestran que el mejor resultado lo presenta el proceso de foto-Fenton mediante radiación solar. Si se compara con tecnologías tradicionales como la adsorción en carbón activo, el resultado es claramente favorable a la tecnología solar.
- El proceso desarrollado puede aplicarse a aguas conteniendo plaguicidas (fosforados, clorados, carbamatos, etc.) pero también fenoles y clorofenoles, disolventes clorados, hidrocarburos aromáticos y poliaromáticos, antibióticos, biocidas, colorantes, etc.

4.2.3 PhotoNanoTech

Aplicación de nanopartículas de fotocimas para purificación de agua, acabados de tejidos, biomineralización fotodinámica y recubrimiento de biomateriales

Participantes: Univ. Sofia (coord., BLG), Bulgaria; CIEMAT-PSA (E), Univ. Politec. Cataluña (E), Univ. Minho (P), Univ. Kaiserslautern (D), Univ. Torino (I), Specialni polimeri Ltd. (BLG), Tinfer (E), Colorcenter (E), Technologie Biomediche (I), Inotex spol s r.o. (RCH) y Perca Ltd. (BLG).

Contacto: Dr. S. Malato, sixto.malato@psa.es

Financiación: EC, VI-FP. Nano-biotechnologies: Using nature as model for new nanotechnology-based processes; 1.720 k€. CIEMAT: 350 K€.

Duración: Pendiente de firma de contrato

Motivación: El proyecto pretende innovaciones tan interesantes como recubrimientos en materiales de uso médico que permitan aumentar la compatibilidad de células y tejidos para minimizar rechazos; modificar tejidos mediante la adición de fotocimas específicas para imitar el comportamiento de la clorofila en las plantas (adsorción selectiva de fotones de determinadas longitudes de onda contenidas en el espectro solar) para mejorar la blancura, brillo, color y tonalidad; modificar tejidos para permitir su autolimpieza exclusivamente mediante su exposición a la radiación solar; aprovechar el efecto antena para descontaminación y desinfección de aguas y, sobretodo, de suelos; materiales que favorezcan la biomineralización fotodinámica para mejorar la regeneración de huesos e incluso para ser utilizados en los implantes óseos

Objetivos: El proyecto Photo-NanoTech pretende desarrollar nuevas "fotocimas" (copolímeros anfifílicos que contienen comonómeros con grupos cromóforos) utilizando comonómeros zwitteriónicos y demostrar sus distintos potenciales de innovación en las siguientes aplicaciones: (i) fotocatalisis solar para el tratamiento de contaminantes y desinfección de aguas; (ii) tratamientos de agentes blanqueantes de la industria textil; (iii) desarrollo de los procesos de biomineralización y (iv) desarrollo de nuevos materiales de recubrimiento biomédico con una respuesta inflamatoria nula. Las tres últimas aplicaciones son completamente innovadoras para fotocimas y no se han explorado hasta ahora.

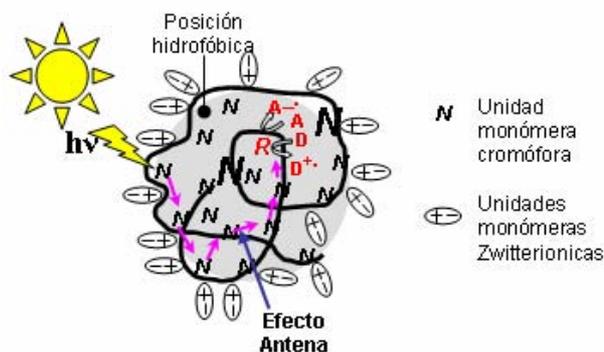


Figura 4.4 Ilustración conceptual de captación de luz y formación de oxígeno singlete en nanomicelas de fotocimas (R es una unidad de antraceno actuando como centro reactivo)

Objetivos alcanzados en 2006: El proyecto no ha comenzado todavía sus trabajos ya que durante 2006 fue evaluado y aprobado por la Comisión Europea dentro del 6th Programa Marco de Investigación de la UE en la prioridad dedicada a nanotecnologías y nanociencias para generar materiales multifuncionales, nuevos procesos y dispositivos.

4.2.4 INNOWATECH

Tecnologías innovadoras e integradas para el tratamiento de aguas residuales industriales.

<http://www.innowatech.org>

Participantes: CNR - Istituto di Ricerca Sulle Acque (I), Aachen Univ. Technol. (D), Tech. Univ. Delft (NL), Swedish Env. Res. Inst. Ltd (S), Cranfield Univ. (UK), Swiss Fed. Inst. Tech. (CH), CIEMAT-PSA (E), Norw. Inst. Wat. Res. (N), SolSep BV (NL), Bayer MaterialScience AG (D), ITT Wedeco (D), Austep S.r.l. (I), Albaida S.A. (E), AnoxKaldnes (S), Water Innovate Ltd (UK), DHV (NL), Adv. Wastewater Manag. Centre (A).

Contacto: Dr. W. Gernjak, wolfgang.gernjak@psa.es
Dr. Antonio López, antonio.lopez@ba.irsa.cnr.it

Financiación: VI-FP. Global Change and Ecosystems.; 2.750 k€. Presupuesto CIEMAT: 350 K€.

Duración: Nov 2006 – Oct. 2009

Motivación: Desarrollar procesos de tratamiento de aguas residuales procedente de actividades industriales: biomasa aeróbica granulada, combinación de procesos de oxidación avanzada combinados con tratamiento biológico e integración de procesos de membrana. Todos considerados como innovadores y de potencial alto. Las tecnologías se aplicarán a distintas corrientes procedentes de industria (lixiviados, farmacéuticos, plaguicidas, papelera, etc.).

Objetivos: (i) Investigar e ampliar el rendimiento de opciones prometedoras para el tratamiento de aguas residuales industriales, como p.ej. la granulación aeróbica, la combinación de procesos de oxidación avanzada con trata-

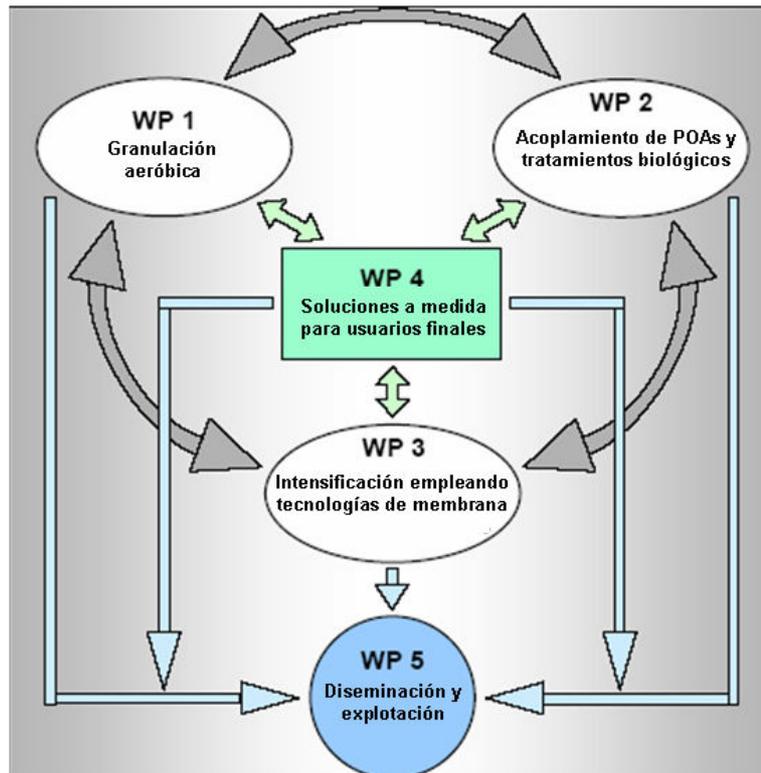


Figura 4.5 Estructura del proyecto INNOWATECH

mientos biológicos, contactores de membranas y reactores químicos de membrana. (ii) Lograr avances tanto de conocimientos fundamentales como tecnológicos. (iii) Evaluar la sostenibilidad económica y ecológica de las opciones tecnológicas investigadas. (iv) Desarrollar soluciones integradas a medida a las necesidades del usuario final, válidas en diferentes sectores industriales y favoreciendo su implementación para aumentar la competitividad de la industria del agua de la UE. (v) Transferir los conocimientos desarrollados a potenciales interesados y usuarios finales dentro y fuera del ámbito del proyecto.

La organización del proyecto se puede ver en Figura 4.5. Las tareas de investigación científica y desarrollo tecnológico se centran en los paquetes de trabajo WP1, WP2 y WP3. Estos paquetes de trabajo están complementados por una evaluación mediante tecnologías de análisis de ciclo de vida y análisis de costes de vida cuyo resultado deberían ser soluciones a medida para casos concretos de aguas residuales de diferentes sectores de industria. Este trabajo se realizará paquete de trabajo WP4. Dos paquetes de trabajo adicionales (WP5 y WP6) completan el proyecto. Dentro del proyecto CIEMAT-PSA lleva a cabo la coordinación del WP2. La labor de investigación de CIEMAT-PSA se centrará en la ampliación de los conocimientos existentes respecto al acoplamiento del proceso foto-Fenton solar a tratamientos biológicos. Se pretende tratar aguas residuales altamente contaminadas con pesticidas, agentes de formulación y residuos de la industria farmacéutica, ampliar los conocimientos respecto a como la estructura del contaminante afecta a la evolución de toxicidad aguda y biodegradabilidad del efluente, nuevos métodos de automatización y control de proceso, evaluar la influencia de salinidad del efluente.

Objetivos alcanzados en 2006: El proyecto ha comenzado en Noviembre de 2006 y todavía no ha generado resultados relevantes.

4.2.5 SODISWATER

Desinfección solar de agua potable para países en vías de desarrollo o en situaciones de emergencia.

<http://www.rcsi.ie/sodis/>

Participantes: RCSI (Coord., IR), UU (UK), CSIR (ZA), EAWAG (CH), IWSD (ZW), CIEMAT-PSA (ES), UI (UK), ICROSS (Kenya), USC (E).

Contacto: Dr. Kevin McGuigan, kmcguigan@rcsi.ie
Dr. Pilar Fernández-Ibáñez, pilar.fernandez@psa.es

Financiación: EC, VI-FP. Actividades específicas de Cooperación Internacional "INCO". 1.900 k€. Presupuesto CIEMAT: 350 K€.

Duración: Sept 2006 – Agosto. 2009

Motivación: La motivación principal de este proyecto es demostrar que la tecnología SODIS ("Solar Disinfection"), de desinfección de agua potable mediante el uso exclusivo de la radiación solar, es una herramienta de intervención efectiva contra las enfermedades de transmisión hídrica a nivel doméstico (en países en vías de desarrollo) y como ayuda en situaciones derivadas de desastres naturales. Solar Disinfection (SODIS) es una técnica de descontaminación de agua que habitualmente utiliza botellas de plástico transparentes llenas de agua y expuestas a la radiación solar directa durante 6-8 horas.

Este proceso reduce los niveles de contaminación fecal de 1 millón de bacterias por ml a cero en menos de 1.5 horas y resulta completamente eficaz en el tratamiento de los patógenos responsables de enfermedades como cólera, disentería, tifus, giardiasis, salmonelosis, gastroenteritis y polio. El único ensayo clínico hasta la fecha sobre esta tecnología, realizado en una comunidad de Kenya, ha demostrado que los niños menores de 5 años que consumieron agua tratada con SODIS eran 7 veces menos propensos a contraer el cólera que los que no la consumieron. No existen limitaciones a la hora de aplicar la tecnología SODIS en zonas de elevados niveles de radiación solar (p. ej. África), siendo sus costes prácticamente nulos ya que solamente requiere botellas de plástico transparentes.

Objetivos: El proyecto está fundamentalmente enfocado hacia el área subsahariana. Sus objetivos estratégicos son los siguientes:

- Demostración de que la técnica SODIS es apropiada y efectiva para descontaminar agua de consumo humano en pequeñas comunidades de países en vías de desarrollo que no tienen fácil acceso a "agua segura". Su aplicación será igualmente eficaz en situaciones de catástrofes o accidentes naturales en las que el acceso a agua potable sea difícil.
- Ensayo y evaluación de distintas estrategias de difusión de la información y de cambios de comportamiento frente a la adopción SODIS como técnica de tratamiento de agua potable en zonas de distinto perfil socio-cultural.
- Divulgación de los resultados de investigación del proyecto a través de organismos internacionales de ayuda (a países en vías de desarrollo y a damnificados de catástrofes) de manera que el SODIS se recomiende como medida de intervención de calidad dentro de los estándares de tratamiento de agua (p. ej. filtración, cloración, desalación, etc.).
- Desarrollo de un conjunto de mejoras tecnológicas del proceso SODIS, a utilizar dependiendo de las condiciones socio-económicas, basadas en el uso de indicadores de dosis ultravioleta para desinfección, de fotocatalizadores activos bajo radiación solar y de módulos de colectores solares (CPCs).

Los objetivos científicos del proyecto son: (i) Estudio del efecto que sobre la salud tiene el consumo de agua tratada con SODIS en cuatro países de África; (ii) análisis de la relación entre agua desinfectada con SODIS y determinados indicadores de salud (morbilidad debida a diarrea y disentería, pérdida de peso, mortandad, tasas de crecimiento, productividad, etc.); (iii) demostración de la eficacia de la técnica SODIS a escala doméstica y del grado de aceptación de ésta como método de desinfección; (iv) evaluación de la eficacia de SODIS frente a determinados virus, protozoos, helmintos y bacterias. CIEMAT-PSA trabajará principalmente para el diseño y construcción de un prototipo de reactor solar de bajo coste, investigación y desarrollo de un sensor dosimétrico de radiación UV para realizar un sistema de control de los sistemas de flujo continuo, evaluación de todas las mejoras tecnológicas relacionadas con reactores y sensores de radiación en condiciones de radiación reales con microorganismos modelo adecuados y realización de un análisis de costes.

Objetivos alcanzados en 2006: Para diseñar el prototipo final, se utilizará un reactor solar prototipo de desinfección de agua ya existente en las instalaciones de la PSA (Figura 4.6 izda). En la Figura 4.6 (dcha) se muestra la degradación de ooquistes de *C. Parvum* en agua con experimentos de SODIS realizados en la PSA, así como la mejora de la desactivación provocada por un catalizador (TiO_2 Degussa P25) inmovilizado sobre una lámina de acetato [4.4].

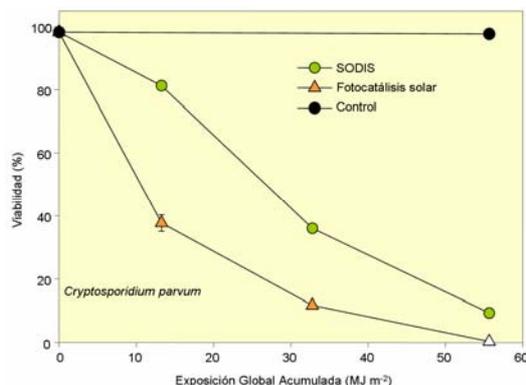


Figura 4.6 Prototipo de fotorreactor solar para desinfección de agua (izquierda). Degradación de ooquistes de *Cryptosporidium parvum* mediante SODIS y fotocatalísis solar con TiO_2 inmovilizado bajo radiación solar natural en la PSA (derecha, [4.4])

4.2.6 FITOSOL

Eliminación de fitopatógenos en agua mediante fotocatalísis: aplicación a la desinfección y reutilización de soluciones nutritivas en cultivos hidropónicos recirculantes

<http://www.psa.es/webeng/projects/fitosol/index.html>

Participantes: Dep. de Producción Vegetal /Univ. Almería; CIEMAT-PSA (coordinador).

Contacto: Dr. Pilar Fernández-Ibáñez, pilar.fernandez@psa.es

Financiación: Plan Nacional de I+D+I, MEC. Presupuesto CIEMAT: 117 K€ + 1 Beca Doctorado FPI.

Duración: Oct 2006 – Sept. 2009

Motivación: Este proyecto tiene como motivación la destrucción de microorganismos fitopatógenos mediante tratamientos fotocatalíticos con radiación solar (utilizando un semiconductor no soluble como el dióxido de titanio y procesos de foto-Fenton), evitando el uso de desinfectantes químicos convencionales (tóxicos y no biodegradables) que aportan al agua de la solución nutritiva cierto nivel de toxicidad nada deseado. La eficacia del tratamiento fotocatalítico se evaluará utilizando modelos presentes en cultivos hortícolas del sureste español: *Pythium aphanidermatum*, causante de necrosis radiculares y del hipocotilo, que acaban desencadenando marchitez en cucurbitáceas, *Phytophthora parasitica*, que ocasiona podredumbre de raíz y pie del tomate, *Fusarium oxysporum f. sp. radicum-cucumerinum*, hongo no zoosporangiado motivo de importantes pérdidas en aquellas explotaciones donde aparece y *Oidium bornovanus*, vector del virus del cribado (MNSV) sobre plantas de melón y sandía.

La comprobación experimental de la capacidad desinfectante de los procesos de fotocatalisis sobre dichos patógenos se llevará a cabo a escala de laboratorio y a escala piloto, en los reactores solares de las instalaciones de la Plataforma Solar de Almería. Finalmente, se comprobarán los resultados en un cultivo sin suelo recirculante típico en las instalaciones experimentales de la Universidad de Almería.

Objetivos:

- Estudio a escala de laboratorio de la eliminación de microorganismos fitopatógenos modelo en la solución nutritiva de cultivos sin suelo recirculantes, mediante fotocatalisis solar con TiO_2 (en suspensión e inmovilizado) y con foto-Fenton.
- Diseño y construcción de un reactor solar piloto para la desinfección de agua con microorganismos fitopatógenos antes mencionados para su aplicación al reúso de aguas utilizadas en cultivos hidropónicos recirculantes.
- Evaluación de los resultados de tratamiento de fitopatógenos en agua obtenidos con los procesos fotocatalíticos utilizando fitopatógenos modelo de los diferentes tipos habituales en los cultivos sin suelo.
- Demostración de la viabilidad de los procesos fotocatalíticos para la desinfección de aguas contaminadas reales procedentes de soluciones nutritivas de cultivos hidropónicos.

La comprobación experimental de la capacidad desinfectante de los procesos de fotocatalisis sobre dichos patógenos se llevará a cabo a escala de laboratorio y a escala piloto, en los reactores solares de las instalaciones de la Plataforma Solar de Almería. Finalmente, se comprobarán los resultados en un cultivo sin suelo recirculante típico en las instalaciones experimentales de la Universidad de Almería.

Objetivos alcanzados en 2006: Los primeros experimentos sobre degradación fotocatalítica solar con TiO_2 y de inactivación solar sin catalizador se han llevado a cabo en la PSA con esporas de *Fusarium equiseti*. Para ello se utilizaron reactores de "batch" sin concentración con tiempos de irradiación solar natural de 6 horas en días perfectamente despejados. Los resultados muestran un efecto importante de la radiación solar en la viabilidad de las esporas de *F. equiseti*. El uso de dióxido de titanio (P25) como catalizador muestra una notable mejora en la eficiencia del proceso de desinfección (Figura 4.8). Las observaciones al microscopio óptico de las esporas de este hongo fitopatógeno durante los ensayos mostraron una clara tendencia a la adsorción de las partículas y agregados de TiO_2 sobre su superficie.

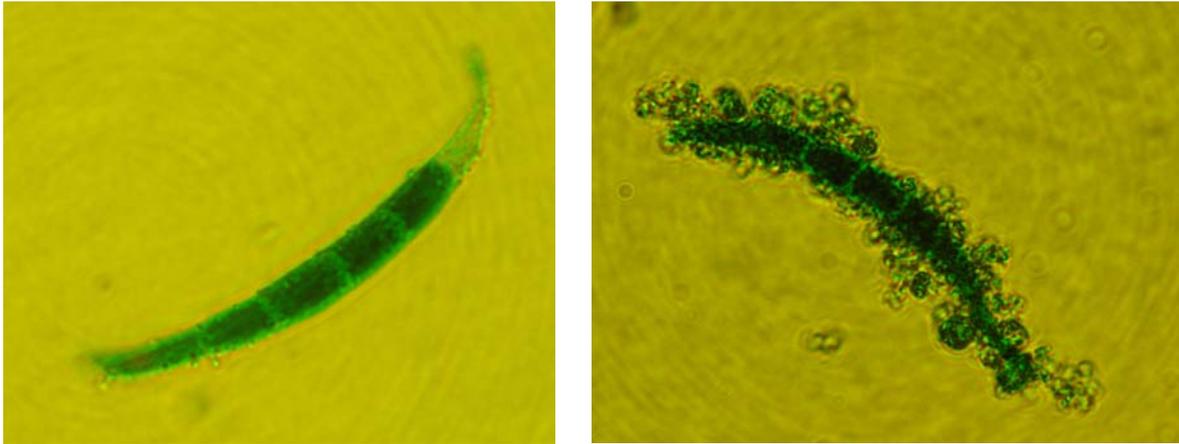


Figura 4.7 Imagen de macroconidia de *Fusarium equiseti* teñida con verde de malaquita obtenida con microscopio óptico de contraste de fases ($\times 1000$), antes (izda.) y después de 5 horas de tratamiento fotocatalítico (dcha.) [4.5].

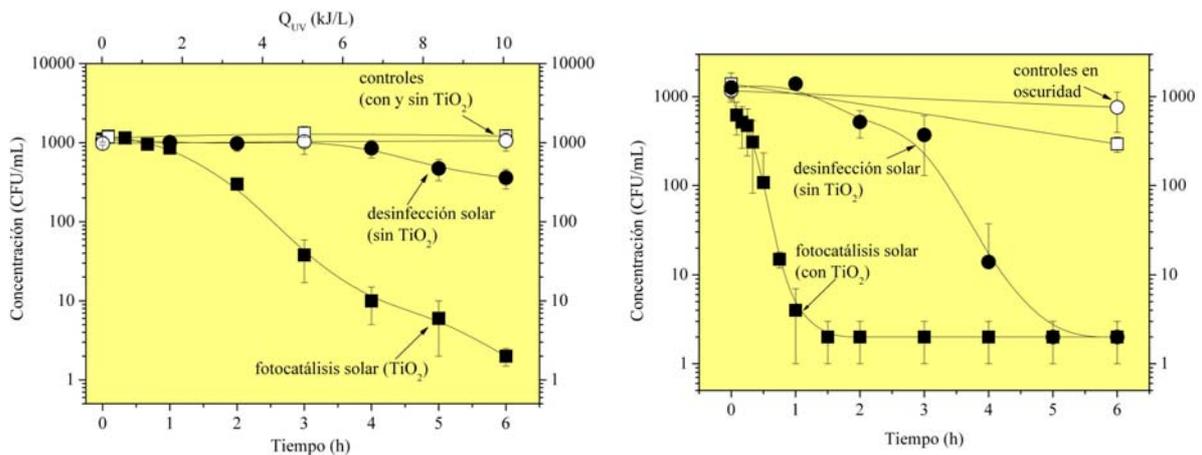


Figura 4.8 Degradación de esporas de *Fusarium equiseti* (Izda) y de *Fusarium verticillioides* (dcha) mediante irradiación solar y fotocatalisis solar con TiO_2 en suspensión (35 mg/L) bajo radiación solar natural en la Plataforma Solar de Almería (dcha, [4.5]).

4.2.7 Plan Nacional de Acceso a la PSA.

Participantes: Instituto de Catálisis y Petroleoquímica del CSIC (Madrid), Universidad Autónoma de Barcelona, Universidad de Santiago de Compostela, Universidad Politécnica de Valencia (2), Universidad de Barcelona

Contacto: Dr. Manuel I. Maldonado. mignacio.maldonado@psa.es

Financiación: Plan Nacional de I+D+I, MEC. Presupuesto CIEMAT en 2006:

Duración: 2005 – 2007

Motivación: Dado que una de las líneas directrices del CIEMAT es fomentar el conocimiento de las energías renovables en la sociedad española, éste ha puesto a lo largo de 2006 a disposición de la comunidad científica las instalaciones y el asesoramiento del personal técnico-científico de la PSA, a través del programa "para la mejora de las grandes instalaciones científicas y para el acceso a las mismas en el marco del programa nacional de equipamiento e

infraestructura de investigación científica y tecnológica" (<http://www.mec.es/ciencia/jsp/plantilla.jsp?area=instalaciones&id=21>).

Objetivos: El objetivo fundamental es dar acceso al mayor número de investigadores posible, tanto doctorandos como investigadores en formación e investigadores principales de proyectos del Plan Nacional. En el Grupo de Detoxificación y Desinfección de Aguas e tiene también la intención que este programa sirva para aumentar el nivel de colaboración existente con G.I. Españoles, identificación de nuevos socios para proyectos futuros, aprovechamiento de ideas aportadas por los visitantes y motivación para mantener las instalaciones y mejorarlas.

Objetivos alcanzados en 2006: Los investigadores seleccionados por el comité de evaluadores externo y pertenecientes a diferentes G.I españoles han conseguido los siguientes resultados.

Universidad Politécnica de Valencia (UPV), Ana García Ripoll. Escalado a planta piloto de la degradación fotocatalítica de los plaguicidas laitton® y metasixtox®, por reacción de foto-Fenton. Se ha estudiado la detoxificación de mezclas de cuatro pesticidas comerciales, comparando diferentes métodos para determinar la toxicidad y/o la biodegradabilidad del efluente. Estos resultados junto a otros previos sirven de base para una publicación que se está preparando de manera conjunta entre la PSA y la UPV, con el título "Decontamination of aqueous solutions containing four commercial pesticides by means of solar-driven photo-Fenton process".

Universidad Politécnica de Valencia (UPV). Antonio Arqués Sanz. Escalado a planta piloto de la degradación fotocatalítica de los plaguicidas Laitton® y Metasixtox®, por reacción de foto-Fenton. Se analizaron y compararon los resultados obtenidos con los métodos de determinación toxicidad / biodegradabilidad empleados en la PSA (Zahn-Welles, MicroTox) con los utilizados por el grupo de la UPV (inhibición de la respiración de fangos activos y de la DBO5 y respirometría).

Instituto de Catálisis y Petroleoquímica-CSIC. Cristina Adán Delgado. Aumento de la biodegradabilidad y eliminación de contaminantes persistentes en efluentes acuosos mediante métodos de oxidación. Se ha comparado la fotoeficiencia de un dióxido de titanio (TiO₂) dopado con Fe sintetizado mediante microemulsión reversa con el TiO₂ comercial Degussa P-25 aplicando ambos

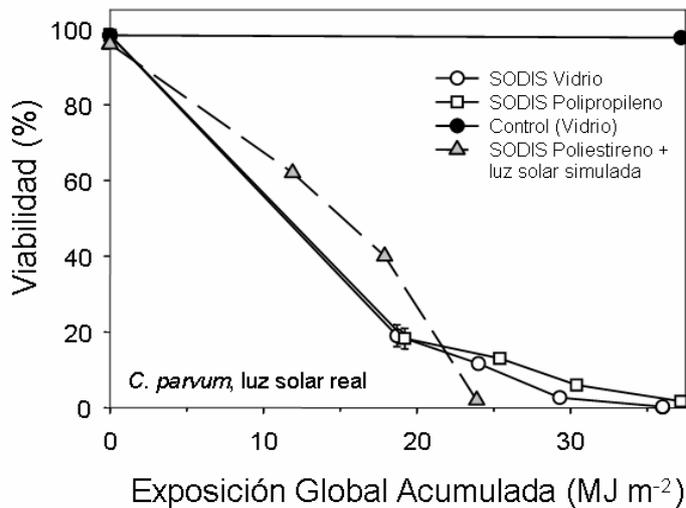


Figura 4.9 Comparación de la inactivación solar de suspensiones de *C. parvum* oocysts en botellas de vidrio borosilicatado y polipropileno expuestas a luz solar real.

catalizadores a disoluciones acuosas de Bromuro de Etidio. Se ha demostrado que la incorporación del Fe al entramado molecular de la partícula de TiO_2 no mejora la eficiencia en la fotodegradación del Bromuro de Etidio que se consigue con el TiO_2 comercial Degussa P-25 [4.45].

Universidad de Santiago de Compostela. Fernando Méndez Hermida. Estudio de la inactivación solar (SODIS) sobre las formas de infectantes de *Cryptosporidium*. Se ha demostrado la inactivación de ooquistes de *C. parvum* en agua con radiación solar natural y se ha probado que el uso de la fotocatalisis solar, con TiO_2 inmovilizado, mejora el resultado de la desinfección respecto al efecto SODIS (radiación solar) [4.4].

Universidad Autónoma de Barcelona (UAB). Julia García Montaña. Degradación en planta piloto de azocolorantes reactivos mediante el proceso de foto-Fenton asistido con radiación solar. Se han estudiado dos azocolorantes comerciales, Procion Red H-E7B y Cibacron Red FN-R, ambos representativos de la industria textil y se ha acoplado el proceso de foto-Fenton a un tratamiento biológico. Con sólo 225 mg l^{-1} de H_2O_2 (Cibacron Red) y 65 mg l^{-1} de H_2O_2 (Procion Red) las soluciones de colorantes adquieren biodegradabilidad suficiente para verter al biorreactor [4.2].

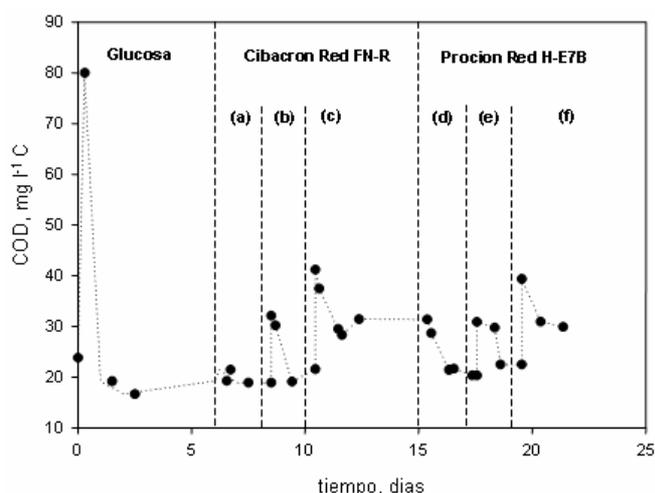


Figura 4.10 Operación del reactor biológico después de foto-Fenton como pre-tratamiento. 250 mg l^{-1} Cibacron Red FN-R con diferentes dosis de H_2O_2 (a) 250 mg l^{-1} , (b) 225 mg l^{-1} , (c) 200 mg l^{-1} . 250 mg l^{-1} Procion Red H-E7B con diferentes dosis de H_2O_2 (d) 80 mg l^{-1} (e) 65 mg l^{-1} (f) 50 mg l^{-1}

Universidad de Barcelona (UB). Jordi Bacardit Peñarroya. Tratamiento combinado fotoquímico-biológico de aguas biorecalcitrantes. Estudio del cambio de escala y de los métodos de control. En el laboratorio (UB) se realizó un diseño de experimentos para estudiar la influencia de los parámetros más característicos de este proceso: dosis de agua oxigenada, dosis de hierro (Fe^{2+}) y temperatura. A partir de los resultados obtenidos se realizó en la PSA un diseño de experimentos acotado a las condiciones más interesantes a estudiar (Tabla 4.1). En este caso no se cambió la temperatura y se trabajó con 4-clorofenol (4-CP). La influencia más grande, como era de esperar, la produce la dosis de H_2O_2 . Una aportación mayor, produce mayor degradación y una mayor biodegradabilidad de los compuestos resultantes de la degradación. Además, se demostró que con dosis muy bajas de hierro, el aprovechamiento del H_2O_2 es más eficiente.

Tabla 4.1 Diseño de experimentos realizado en la PSA.

| Exp. | [4-CP] ₀ ppm | [Fe ²⁺] ₀ ppm | [H ₂ O ₂] ₀ ppm | codificado | | Temperatura °C | pH inicial |
|------|----------------------------|---|--|------------------|-------------------------------|-------------------|---------------|
| | | | | Fe ²⁺ | H ₂ O ₂ | | |
| 1 | 200 | 10 | 500 | 0 | + | 27 | 2.8 |
| 2 | 200 | 10 | 400 | 0 | 0 | 27 | 2.8 |
| 3 | 200 | 10 | 300 | 0 | - | 27 | 2.8 |
| 4 | 200 | 2 | 300 | - | - | 27 | 2.8 |
| 5 | 200 | 20 | 300 | + | - | 27 | 2.8 |
| 6 | 200 | 20 | 500 | + | + | 27 | 2.8 |
| 7 | 200 | 2 | 500 | - | + | 27 | 2.8 |

4.3 Grupo de Detoxificación en Aire

El principal objetivo de este grupo es el desarrollo de sistemas fotoeficientes para el tratamiento de aire contaminado usando, preferentemente, radiación solar como fuente de energía. Aunque la adsorción y combustión catalíticas se han utilizado también para cumplir este objetivo, las actividades del grupo se han centrado, preferentemente, en el desarrollo de procesos fotocatalíticos para la purificación del aire. De esta manera, la preparación y selección de soportes fotocatalíticos eficientes, constituye una de las principales actividades de esta investigación. En relación con la naturaleza de los contaminantes, se ha dedicado un esfuerzo significativo a la reducción de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) y moléculas inorgánicas tóxicas y malolientes como el H₂S, además de un incipiente trabajo en la eliminación de microorganismos atmosféricos. Se pretende, con todo ello, obtener soluciones ambientalmente correctas para los problemas industriales, de centros de trabajo y aire interior relacionados con su salubridad.

4.3.1 Desarrollo de métodos alternativos de preparación de materiales fotocatalíticos de alta eficiencia

Participantes: CIEMAT (PSA-DER) e ICP-CSIC (España).

Persona de contacto: Dr. B. Sánchez; benigno.sanchez@ciemat.es

Financiación: MCYT Ministerio de Ciencia y Tecnología.
Total financiado: 75 k€ (En. 2005 – Dic. 2007).

Antecedentes: El tratamiento de gases requiere fotocatalizadores fijos en un sustrato conformado en estructuras abiertas que permitan tratar altos flujos con baja pérdida de carga y sin arrastrar los componentes fotoactivos. Además, el soporte debe ser transparente a la radiación UVA usada para la activación de los fotocatalizadores con el fin de hacer más efectivo el uso de los fotones incidentes. Sin embargo, los fotocatalizadores disponibles no satisfacen completamente estas demandas.

Objetivo: El objetivo de este proyecto es investigar en la creciente demanda de fotocatalizadores soportados, versátiles y de alta actividad, para la eliminación eficiente de contaminantes atmosféricos como son los Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs). Nuevos fotocatalizadores basados en películas de TiO₂ (formados por mezclas de anatasa o anatasa-rutilo), y otros semiconduc-

tores como SnO_2 o ZrO_2 y metales nobles, son soportados sobre sustratos de diferente composición y morfología (cerámicos, metálicos o poliméricos).

La síntesis de TiO_2 se realiza mediante procedimiento sol-gel que garantiza la formación de núcleos de anatasa a baja temperatura y, consecuentemente, resulta adecuado para impregnar sustratos sensibles al incremento de temperatura. Como comparación, se han usado suspensiones estabilizadas de TiO_2 en polvo comercial. La preparación del fotocatalizador se realiza por *dip-coating* y una novedosa técnica de deposición por electrospray. Se estudia la actividad y estabilidad del fotocatalizador con cada una de las diferentes variables de preparación con tres contaminantes orgánicos representativos: Tricloroetileno, tolueno y ácido fórmico.

Logros en 2006: La actividad que CIEMAT ha desarrollado durante este periodo se ha centrado principalmente en la síntesis de materiales impregnados con TiO_2 de diferente porosidad y transparencia: soportes transparentes no porosos, como vidrio borosilicatado y polímeros orgánicos (PET y acetato de celulosa), y sustratos cerámicos mesoporosos y opacos (placas de silicato magnésico natural, calcinadas a diferentes temperaturas y preparadas en el ICP-CSIC). Un ejemplo de la eficiencia de los materiales obtenidos se muestra en la Figura 4.11, que compara la actividad del mismo TiO_2 depositado como capa sobre cerámica porosa y sobre placa de cristal denso. El fotocatalizador formado resulta una mezcla de TiO_2 y silicato. Estos resultados muestran que la porosidad es beneficiosa para la degradación de TCE, pero la impregnación de TiO_2 es más eficiente, muy probablemente debido a una mejor exposición a la luz. Por otra parte, el sol-gel de TiO_2 depositado sobre soportes transparentes como los mostrados en la Figura 4.12, han mostrado una alta fotoeficiencia para la destrucción de COV's. Sin embargo, los soportes poliméricos pueden sufrir daños debidos a la radiación incidente. Para evitarlo y aumentar su durabilidad, se han probado varias estrategias, incluyendo la formación de una barrera protectora basada en SiO_2 .

Publicaciones: [4.6]

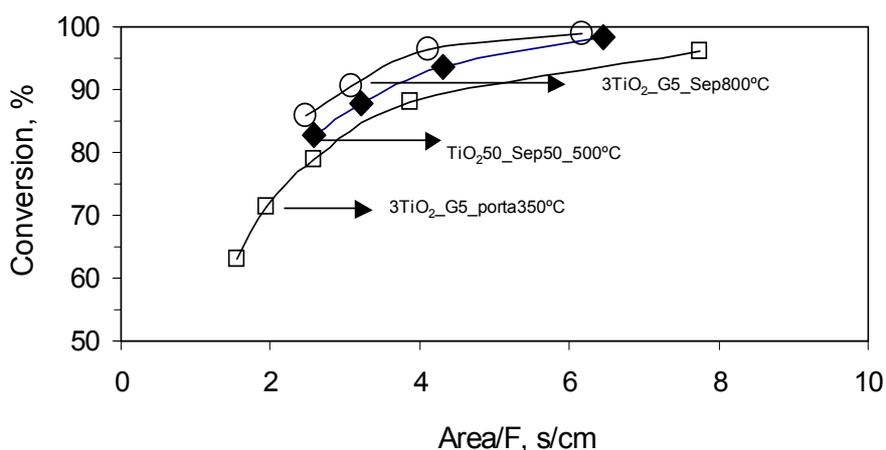


Figura 4.11 Conversión de tricloroetileno en función del área iluminada y el flujo (Area/F) para tres diferentes fotocatalizadores: TiO_2 impregnado sobre silicato a 50:50 W/w TiO_2 /mezcla de silicato y una capa de TiO_2 sobre soporte de vidrio. Concentración inicial de contaminante 10 ppm_v

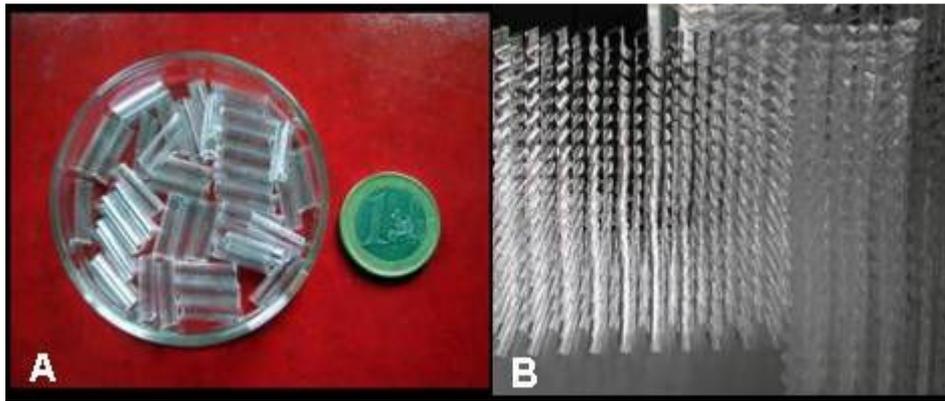


Figura 4.12 Ejemplos de soportes utilizados para depositar TiO_2 en A) tubos de cristal borosilicato; B) monolito polimérico

4.3.2 DETOX- H_2S

Desarrollo de un Nuevo sistema de eliminación de compuestos tóxicos y corrosivos en aire generados en depuradoras de aguas residuales

Participantes: CIEMAT, ICP-CSIC, ICV-CSIC and UNED (España); USACH (Chile), UENF (Brasil) y University of Wisconsin (USA).

Persona de contacto: Dr. B. Sánchez; benigno.sanchez@ciemat.es

Financiación: Comunidad Autónoma de Madrid (CM): 700 k€

Duración: Enero 2006 - Diciembre 2009

Antecedentes: Este trabajo está relacionado con el desarrollo de un nuevo sistema para el tratamiento de sustancias tóxicas y peligrosas tales como H_2S y mercaptanos, causantes de los malos olores de muchas de las plantas depuradoras de aguas residuales, lo que plantea problemas de aceptabilidad en su entorno inmediato. Además, estas emisiones contribuyen a la corrosión de gran parte de la instrumentación de control con un elevado coste económico.

Objetivos: Desarrollar un sistema de tratamiento fotocatalítico activado por la radiación solar o lámparas UV que permita operar bajo condiciones reales de proceso.

- Desarrollar un sistema de tratamiento por adsorción que permita la retención de los componentes nocivos existentes en atmósferas de plantas depuradoras.
- A partir de los resultados de ambos sistemas, se desarrollará un nuevo sistema mixto basado en fotocatalisis y adsorción. Este reactor combinado potenciará la eficiencia de cada sistema por separado, resultando en un nuevo sistema más eficiente. La consecución de estos objetivos debería significar una reducción drástica de los compuestos químicos actualmente usados para controlar estas emisiones y, consecuentemente, una reducción de costes y un ambiente más seguro para los trabajadores y el entorno de la planta.

Logros en 2006: Durante este primer año, los principales esfuerzos se han centrado en la selección de fotocatalizadores soportados con alta eficiencia y durabilidad. Se han seleccionado e impregnado diferentes soportes transparentes al UV con TiO_2 mediante técnicas sol-gel. En paralelo con esta activi-

dad, varios adsorbentes de alta área superficial (silicatos, carbones...) se han preparado por extrusión tanto en placas como en forma de monolitos.

Se ha estudiado la degradación fotocatalítica en función del flujo, la concentración de H_2S y la humedad. Los resultados muestran que se puede obtener una alta conversión de H_2S con una adecuada selección de las condiciones de operación. La Figura 4.13 muestra el efecto de la humedad sobre la conversión de algunos de los fotocatalizadores ensayados. Es de destacar la detección de SO_2 en la corriente de salida después de varias horas de irradiación. Con ello, se demuestra que el H_2S no se degrada únicamente a sulfato sino que puede ser oxidado a SO_2 . La selectividad de la fotodegradación de H_2S tiene un impacto significativo en la eficiencia del proceso ya que el acúmulo de sulfato sobre el TiO_2 causa una progresiva desactivación del catalizador. Sin embargo, estudios preliminares han mostrado que la regeneración puede ser conseguida simplemente mediante lavado con agua. Se ha realizado un considerable esfuerzo de investigación para optimizar las diferentes variables que afectan al proceso de lavado. Se ha investigado sistemáticamente la influencia del pH, la temperatura, la velocidad y el tiempo de lavado. Los resultados obtenidos indican que incrementando la temperatura y la alcalinidad de la solución se potencia la solubilidad del sulfato adsorbido y se facilita la regeneración de los fotocatalizadores. Finalmente, la estabilidad de los materiales utilizados en este estudio ha sido investigada mediante exposición a la radiación solar y también, en cámara de envejecimiento acelerado. Los resultados iniciales muestran que el soporte polimérico sufre una significativa pérdida de transmisión en la región UVA y llega a mostrarse quebradiza debido a los daños por radiación. En consecuencia, la búsqueda de nuevas vías para proteger estos soportes y aumentar su durabilidad serán investigaciones a acometer en las próximas actividades del proyecto.

Publicación: [4.47]

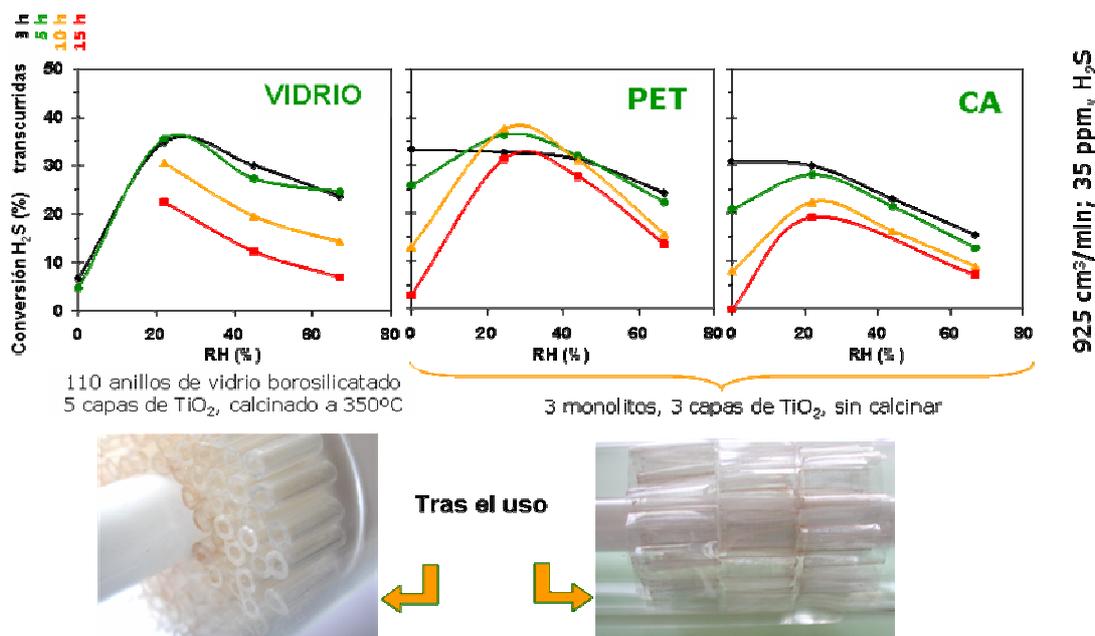


Figura 4.13 Conversión en función de la humedad relativa, usando anillos de vidrio y monolitos poliméricos como soportes de TiO_2 .

4.4 Grupo de desalación solar

En el apartado de actividades correspondiente a los procesos de desalación solar hay que destacar, de forma especial, el incremento tan notable de actividad que ha tenido lugar en el año 2006. Los procesos de desalación se vislumbran como una alternativa totalmente necesaria ante el agotamiento de los recursos de agua superficiales y la sobre explotación de los acuíferos en una gran cantidad de zonas del globo. Dado que la desalación es un proceso intensivo en consumo de energía, en el contexto actual de incremento continuo de precios de la misma y con una previsión de necesidades cada vez mayores de agua, debido a una gran cantidad de factores pero, sobretodo, al incremento de la población mundial, el desarrollo de procesos y tecnologías de desalación solar se encuentra plenamente justificado. Buena prueba de ello es el creciente interés, no solo de gran cantidad de empresas, sino también de instituciones. A modo de ejemplo baste indicar que en el VII Programa Marco de la Unión Europea, lanzado a finales del 2006, ha aparecido por primera vez el tema de la desalación solar como tópico de investigación, dentro del programa de Energía.

Otro hecho a destacar dentro de esta área de investigación, es que una parte importante de la actividad en curso se encuentra enfocada hacia aplicaciones en el entorno Mediterráneo en general y hacia países del norte de África en particular. Este hecho ha permitido ampliar, de una forma importante, el espectro de colaboraciones de la Unidad incorporando un nutrido grupo de instituciones, universidades y empresas norteafricanas a los tradicionales entornos de colaboración Europeos e Iberoamericanos. Este entorno de colaboración Mediterráneo claramente continuará creciendo en el futuro con la incorporación de nuevas iniciativas y actividades, actualmente en proceso de gestación.

4.4.1 AQUASOL

Desalación avanzada de agua de mar mediante tecnología solar híbrida y vertido nulo

<http://www.psa.es/webeng/aquasol/index.html>

Participantes: CIEMAT-PSA (Coord., E). INABENSA-SOLÚCAR (E). AOSOL (P). NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS (GR). INETI (P). CAJAMAR (E). HELLENIC SALTWORKS (GR). COM. REGANTES CUATRO VEGAS (E). ENTROPIE (F).

Contacto: Dr. J. Blanco, julian.blanco@psa.es

Financiación: EC (Energy, Environment and Sustainable Development Programme); 1.500 k€.

Duración: Marzo 2002 – Febrero 2006

Motivación: La desalación de agua de mar es una de las posibles soluciones a grave problema de escasez de agua que nuestro planeta va a sufrir durante la primera mitad de este siglo, un problema que no es exclusivo de los países en desarrollo, ya que cada vez es más frecuente la aparición de fenómenos estacionales de sequía pertinaz en algunas regiones de los países desarrollados.

A pesar de todos los avances experimentados en los últimas décadas, las tecnologías de desalación de agua de mar continúan siendo consumidores intensivos de combustibles fósiles. En el marco mundial actual, con la creciente inestabilidad en los precios del mercado del petróleo y las exigencias me-

medioambientales derivadas del cumplimiento del Protocolo de Kyoto, la sostenibilidad de la desalación pasa ineludiblemente por una mejora de la eficiencia de los procesos tecnológicos involucrados así como por el uso de fuentes energéticas renovables. El Proyecto AQUASOL afronta ambas opciones utilizando la energía solar térmica como fuente energética renovable y contribuyendo a aumentar la eficiencia térmica del proceso de destilación multi-efecto. El impacto medioambiental del proceso de desalación también se ha reducido mediante la recuperación de la sal contenida en la salmuera.

Objetivos: El principal objetivo del Proyecto AQUASOL es el desarrollo de una tecnología híbrida solar/gas de desalación de agua de mar basada en el proceso de la destilación multi-efecto (MED) que cumpla al mismo tiempo los principios de eficiencia energética, bajo coste y vertido nulo.

Objetivos alcanzados en 2006: Durante este periodo se finalizó la implementación de los diferentes subsistemas y se procedió a su ensayo bajo condiciones climáticas reales en las instalaciones de la Plataforma Solar de Almería (Planta MED, bomba de calor y campo solar) y de la salinera griega Hellenic Saltworks en la isla de Lesbos (Secador solar).

El sistema AQUASOL presenta tres modos de operación diferentes dependiendo del origen de la energía térmica:

- Modo sólo-solar: el aporte energético al primer efecto de la planta de destilación procede exclusivamente de la energía térmica procedente del campo de captadores solares.
- Modo sólo-fósil: la bomba de calor de doble efecto es la encargada de suministrar la totalidad de la energía requerida por la planta de destilación.
- Modo híbrido: el aporte energético procede tanto de la bomba de calor como del campo solar. Se han considerado aquí dos filosofías de operación diferentes: en la primera de ellas la bomba de calor trabaja de manera continua las 24 horas del día con una contribución mínima del 30%, mientras que en la segunda se producen arranques o paradas de la bomba dependiendo de la disponibilidad del recurso solar.

La experiencia de operación y mantenimiento con el sistema AQUASOL ha mostrado una alta fiabilidad, no registrándose ningún problema de importancia durante la campaña de ensayos. El campo de captadores solares ha mostrado una eficiencia promedio diaria (razón entre la potencia térmica entregada a los tanques de almacenamiento y la radiación solar global incidente sobre la superficie inclinada de los captadores) del 48%. El factor de rendimiento de la planta (kg de destilado producidos por cada 2316 kJ de energía térmica suministrada al sistema) en modo sólo-solar se situó por encima de 10.

En cuanto a la evaluación de la nueva bomba de calor por absorción, como resultado de los primeros ensayos, se decidió cambiar la configuración inicial de flujo paralelo por una configuración de flujo en serie, con objeto de mejorar la controlabilidad del dispositivo, especialmente durante los transitorios. Tras esta modificación, la unidad mostró un comportamiento excelente, incrementando el factor de rendimiento de la planta de destilación de un valor de 10 a un valor por encima de 20, es decir, un incremento del 100% en la eficiencia térmica del proceso. En lo que se refiere al modo híbrido, es necesario señalar que la bomba de absorción mostró una gran inercia térmica, principalmente debido al hecho de que la potencia máxima entregada por la caldera de vapor no es mucho mayor que la requerida por la bomba en condiciones estacionarias. Por esta razón los mejores resultados se obtuvieron con la bomba de calor en funcionamiento continuo, con una contribución mínima del 30%.



Figura 4.14 Bomba de calor por absorción (LiBr-H₂O) de doble efecto

Los análisis de sensibilidad han mostrado que el tamaño de la planta juega un papel fundamental a la hora de determinar el precio final del agua desalada producida con la tecnología AQUASOL. Con objeto de reducir el impacto de los costes de amortización del campo solar y la bomba de calor en el precio del agua, es necesario considerar plantas con una capacidad mayor de 6,000 m³/día con un precio de 1.55€/m³, el cual puede reducirse hasta los 0.93 €/m³ para una planta de 12,000 m³/día de capacidad [4.48 a 4.54]

4.4.2 MEDESOL

Desalación de agua de mar mediante sistemas solares de destilación por membranas.

<http://www.psa.es/webeng/projects/medesol/index.html>

Participantes: CIEMAT-PSA (E), Univ. de La Laguna (E), Acciona Infraestructuras S.A. (E), Aguas de las Cuencas Mediterraneas, S.A. (E), AOSOL (P), Univ. Stuttgart (D), Tinep S.A. de C.V. (MEX), Centro de Investigación de Energía – Univ. Nacional Autónoma de México (MEX), Kungliga Tekniska Högskolan Stockholm (S), Scarab Development AB (S), Iberinsa S.A. (E).

Contacto: Dr. J. Blanco, julian.blanco@psa.es
Dr. W. Gernjak, wolfgang.gernjak@psa.es

Financiación: VI-FP. Global Change and Ecosystems.; 1.375k€. Presupuesto CIEMAT: 417K€.

Duración: Octubre 2006 – Septiembre 2009

Motivación: Desarrollar procesos de destilación por membrana en los que el suministro energético proceda de captadores solares trabajando a baja temperatura (60-100 °C). Este proceso es muy innovador y tiene un alto potencial de aplicación, especialmente para unidades de desalación con pequeña a mediana capacidad de producción de destilado (0.1 – 50 m³/día), siendo su robustez y sencillez las principales características de esta tecnología. Todo ello la convierte en idónea para plantear sistemas autosuficientes geográficamente aislados.

Objetivos: (i) Investigar el proceso de destilación por membranas para aumentar la eficiencia del sistema. (ii) desarrollar conceptos del sistema que permitan la recuperación de calor de forma eficiente. (iii) desarrollar y/o mejorar diferentes componentes individuales del sistema completo, como por ejemplo un captador solar mejorado y un intercambiador de calor que mediante tratamientos de superficie novedosos pretende minimizar el desarrollo de precipitados (fouling). (iv) desarrollar un sistema con capacidad de varios metros cúbicos por día. (v) desarrollar un sistema autónomo con capacidad de cientos de litros por día.

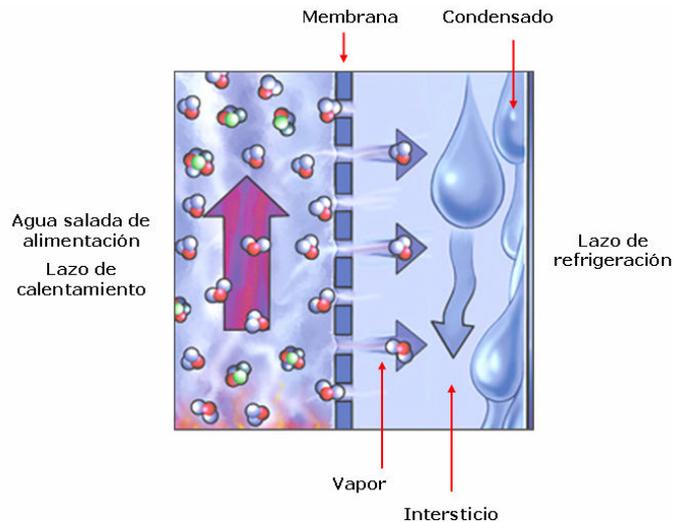


Figura 4.15 Principio del proceso de destilación por membranas (cortesía de Xzero, Suecia)

El principio del proceso se puede ver en la Figura 4.15. El vapor de agua atraviesa una membrana hidrofóbica a causa de una diferencia de presión de vapor entre ambos lados de la citada membrana. Esta diferencia de presión de vapor se genera manteniendo niveles de temperatura diferentes en ambos lados. De esta forma, el vapor atraviesa la membrana del lado caliente hacia el lado frío, donde se condensa y recoge como destilado de alta pureza. El calor de condensación se cede dentro del mismo módulo de destilación por membrana al fluido de refrigeración que no entra en contacto directo con el destilado. Por lo tanto el módulo de destilación está constituido por cuatro compartimentos (véase también esquema abajo):

- canal de agua caliente a desalar
- membrana hidrofóbica
- canal de aire, donde condensa el vapor
- canal de refrigeración con fluido de refrigeración

4.4.3 OSMOSOL

Desalación por ósmosis inversa mediante energía solar térmica. <http://www.psa.es/projects/osmosol>

Participantes: Universidad de la Laguna (Coord., ES). CIEMAT-PSA (ES). (FR). Universidad Rovira i Virgili - CREVER (ES)

Contacto: Dr. J. Blanco, julian.blanco@psa.es
Dra. L. García, mlgarcia@ull.es

Financiación: Ministerio de Educación y Ciencia (Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2004-2007); 70 k€ (CIEMAT).

Duración: Diciembre 2005 – Diciembre 2008

Motivación: La desalación consume gran cantidad de energía; en el caso de los procesos de ósmosis inversa con agua de mar, este consumo se sitúa en torno a los 3.5 kWh/m^3 . Teniendo en cuenta los $2 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{día}$ que se producen en España, es indudable la necesidad de desarrollar tecnologías de desalación sostenibles y económicamente viables. Las implementaciones existentes de plantas de ósmosis inversa con energía solar están basadas en la tecnología fotovoltaica. La utilización de la energía solar térmica en dicho proceso permitirá un mayor aprovechamiento del recurso solar y un menor impacto medioambiental al eliminar los problemas de residuos que conlleva el uso de baterías en el caso de la solar fotovoltaica.

Objetivos: El principal objetivo del Proyecto OSMOSOL es el desarrollo de una tecnología innovadora basada en la aplicación de la energía solar térmica al proceso de desalación mediante ósmosis inversa que cumpla al mismo tiempo los principios de sostenibilidad medioambiental y viabilidad económica. Para ello se pretende utilizar la energía térmica captada y concentrada mediante un dispositivo solar para alimentar un ciclo termodinámico basado en un fluido que vaporice a temperatura relativamente baja y que, acoplado a un sistema turbo-compresor, permita la transformación directa de energía térmica en la energía mecánica requerida por el proceso de ósmosis.

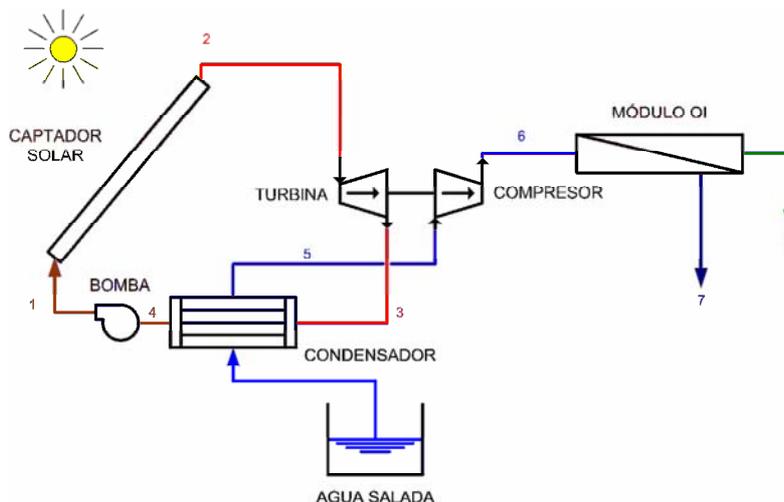


Figura 4.16 Sistema genérico de ósmosis inversa acoplado a un motor solar

Objetivos alcanzados en 2006: Durante el primer año del proyecto se ha llevado a cabo una profunda revisión de la tecnología de captadores solares térmicos de media y baja temperatura, desde el punto de vista de su aplicación en los procesos desalación.

Una vez seleccionados determinados ciclos Rankine orgánicos solares, se procedió a escoger de entre los captadores solares recopilados en la actividad anterior, aquellos que mejor se adaptan a las condiciones de contorno establecidas por el ciclo termodinámico anteriormente reseñado. Se han preseleccionado cuatro captadores solares estáticos y dos de tipo cilindro-parabólico, suministrando las especificaciones técnicas y funcionales para poder llevar a cabo el análisis del ciclo de potencia solar, el cual se ha realizado empleando hasta 22 fluidos de trabajo diferentes.

4.5 Caracterización de la Radiación Solar

Durante el año 2006, las actividades relacionadas con el estudio y la caracterización de la Radiación Solar se han centrado en la participación en Proyectos relacionados con la:

- Medida de la radiación solar.
- Estudio de la distribución espectral de la radiación solar.
- Tratamiento de imágenes de satélite para cálculo de la radiación solar.

A continuación se describen en detalle las actuaciones más relevantes referentes a estas líneas de actividad. Las referencias y publicaciones asociadas a esta actividad pueden encontrarse en la sección 4.6 [4.55 a 4.67].

4.5.1 Acceso a la Información Radiométrica del Ciemat

Este proyecto se trata de un proyecto cofinanciado con fondos FEDER, fondos del Plan Nacional de I+D+I así como fondos internos. Responde al deseo de disponer de acceso *on line* a datos de radiación solar de calidad fundamentalmente para su aprovechamiento energético en el contexto de las actividades de la PSA en particular y del CIEMAT en general. El comienzo de este Proyecto se remonta a 2001 y se pretende continuar hasta 2010, dependiendo de la disponibilidad de fondos para su mantenimiento.

Desde 2001 a 2004, las principales actuaciones se centraron en la puesta a punto de la información que quería ser distribuida, fundamentalmente: datos de una nueva estación radiométrica en la PSA (de alta calidad y en el marco de la BSRN) y datos de radiación solar resultado del tratamiento de imágenes de satélite.

En 2004 también se procedió a la instalación de una nueva estación radiométrica en el CEDER (Soria), con el fin de mejorar las bases de datos de calidad de radiación solar en España, y mejorar los modelos de tratamiento de imágenes de satélite.

Con todo ello, el Grupo de Radiación Solar dependiente de la PSA, dispone de información procedente de estas tres fuentes:

7) Estación Radiométrica BSRN de la PSA:

En cuanto a la estación radiométrica BSRN de la PSA, durante los años 2001 a 2003, se procedió a:

Caracterización de la Radiación Solar.
Aplicaciones Medioambientales de la Energía Solar y Caracterización de la Radiación Solar.

Acceso web datos on-line



Estación Radiométrica PSA

Estación Meteorológica CEDER



Mapas de España de radiación solar

Ciemat - Copyright © 2006 - All Rights Reserved

Figura 4.17 Información disponible en la web

- La selección del emplazamiento óptimo y ubicación de los elementos estructurales.
- Selección de la instrumentación.
- Diseño de la configuración de la adquisición de datos.

Durante 2004, las actuaciones principales estuvieron relacionadas con el diseño de la base de datos y la implementación de las herramientas de explotación, para finalmente en 2005 terminar de depurar las herramientas de explotación y la implementación de filtros.

El año 2006 ha sido el primer año de funcionamiento global de la estación, si bien se han producido incidentes destacables como la caída de un rayo que inhabilitó la estación durante unos días.



Figura 4.18 Efectos producidos por la caída de un rayo. El anemómetro que se encontraba en lo alto del mástil fue derribado.

8) Estación radiométrica del CEDER (Soria)

Durante 2005, se ha procedido a la incorporación de la información de esta estación entre los datos generados por el Grupo de Radiación Solar. Si bien se trata de una estación menos dotada instrumentalmente, es de total autonomía por estar configurada con elementos comerciales muy robustos. La información de esta estación es filtrada semanalmente con herramientas externas y volcada al servidor central.

9) Tratamiento de imágenes de satélite.

Esta actividad, desarrollada en el contexto de Proyectos del Plan Nacional de I+D+I, se ha venido desarrollando desde 1999. Hasta 2004, las actuaciones se centraron en:

- Desarrollo de la metodología.
- Adquisición y puesta a punto de las bases de datos de satélite.
- Adquisición y puesta a punto de las bases de datos terrestres.
- Desarrollo de modelos de tratamiento.
- Aplicación de los modelos desarrollados al total de las imágenes.
- Generación de resultados.

Durante 2006 esta base de datos no se ha modificado, pero han sido numerosas las consultas externas realizadas a la misma.

En la actualidad la aplicación global (consulta a datos de la PSA, del CEDER y de satélite) cuenta con un total de 455 usuarios:

- 4 usuarios administradores (2 en PSA y 2 en Madrid). Con privilegios totales de acceso, modificación y control del sistema de adquisición de datos, base de datos y explotación. Se incluye el acceso a datos registrados al segundo.

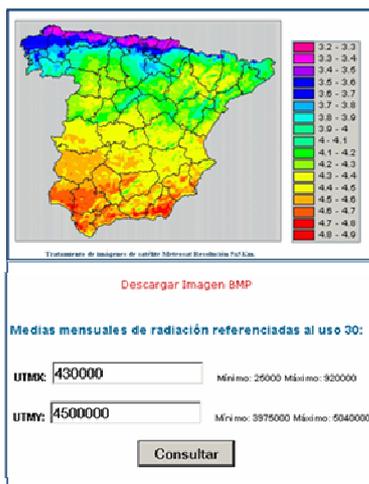


Figura 4.19 Acceso a la radiación solar calculada a partir de imágenes de satélite.

| Mes | Valor Radiación |
|------------|-----------------|
| Enero | 2.26 |
| Febrero | 3.09 |
| Marzo | 4.44 |
| Abril | 5.35 |
| Mayo | 5.94 |
| Junio | 6.80 |
| Julio | 6.83 |
| Agosto | 6.17 |
| Septiembre | 4.73 |
| Octubre | 3.62 |
| Noviembre | 2.52 |
| Diciembre | 1.85 |

Almería, 12 de Mayo de 2006
Plataforma Solar de Almería
CIEMAT

Figura 4.20 Presentación de las medias mensuales de radiación global diaria sobre superficie horizontal (en kWh/m²y día) en un emplazamiento concreto.

- 52 usuarios PSA/CIEMAT. Con acceso a los datos promediados al minuto (media, mínima, máxima y desviación estándar) de las variables registradas en las estaciones de medida.
- 399 usuarios externos. Con acceso a datos horarios y diarios registrados en las estaciones de medida.

Tabla 4.2 Relación de empresas que consultan la bases de datos de radiación en la página Web

| | | |
|---|--|---|
| Universidad Rey Juan Carlos I | Universidad de Almería | Arlas Investment |
| SunTechnics SL | Enecolo | Universidad de las Palmas de Gran Canaria |
| ENDESA Generación | Sener | TDT-ER S.L. |
| Instituto de Astrofísica de Andalucía | Universidad de Córdoba | Universidad Nacional del Santa - Peru |
| CSIC | Systaic Ibérica S.L | Solararteknik |
| New Technologies Global Solutions | Isoen Ingeniería | IPENERGIA |
| ITSMO94 | Univ. de La Rioja | Enerteam |
| ECOSOL ENERGY NEDERLAND | Mubadala | Neosolar |
| GRUPO ISOLUX CORSÁN, S.A. | Universidad de Valencia - Facultad de Ciencias | NIPSA |
| Universidad de Granada | Universidad de La Laguna | PwC |
| EREDA -Energías Renovable | SNELL SERVICIOS | Biot |
| UNED | Neo Energía | Sunergy |
| ENERFIN SOCIEDAD DE ENERGÍA | Samca | DLR |
| MICROBEAM, S.A. | GE&PE | Universida de Vigo |
| CENIM | Alatec | Avant Solar |
| Cosentino s.a. | Apiaxxi | Geonica |
| Universidad de Alcalá | INVERSIÓN MAS DESARROLLO | Sunergy |
| Proyecto MBA | Avenia | INGSEMAT Ingeniería SL |
| Arquitectural | Solarpack | EPURON |
| AURANTIA | Promocion Solar | Universidad de Antioquia-Colombia |
| TU Dresden, Institute of ... | GRUPOSOLAR S. L. | Grupo Enersolar XXI, sl |
| CASA | CAP | GRUPOGESOLAR |
| Instituto de Energía Solar. ETSI Telecomunicación | Eolica Navarra | Proinlosa |
| Bromos | Ingeniería Solándalus S.L | AGNI |
| Hidrogenes | Estudio-arquitectura Arquired | Corp. ZIGOR |
| COENA | Universidad Castilla la Mancha | ETIFA |
| Universidad de Málaga | Fh-swf Nexgo | OFFICE PROYET S.L. |
| CITHE | Albasa Solar SL | KinTech Ingeniería S.L. |
| Fuente Olen S.L | Berger Erneuerbare Energia | Universidad de Sevilla |
| Energia alternativa Direc | Soluzionia | Energías Renovables Albacete |
| Innova Italy | Enerpal Madrid | Enertec |
| ETECAM | ICTA-Universida Autonoma Barcelona | Conmasa |
| German Meteorological Service DWD | Servirap | Wagner Solar S.L |
| Isofon | Sadar Energias | Ger 2004, sa |
| Urbaser | INITEC INFRAESTRUCTURAS | Universida de Jaen |
| Soelca | Solucar R&D | Gas Natural |
| Prosolia | IES-UPM | Gamesa Solar |
| Voltwerk energias nuevas | Milenio Solar | Iberinco |
| SOLAR POWER Globalum | Unisol | Elixe ingenyeria |
| INDUSTRIAS VÁZQUEZ | Pgi grup | Enerfin |
| Tragsa | Universidad de alicante | Universidad Salta - Argentina? |
| BG-Capital | Neo Energía | Sitecma |
| Sustainable Bioenergy | Energías Renovables Almería ENERPAL | ATON Alternativas Energética |
| Oplima Portugal | Saguntina de climatización | |

4.5.2 MEDERAS

Medida de la Distribución Espectral de la Radiación Solar y Caracterización de su Influencia en la Generación Fotovoltaica por Distintas Tecnologías

Financiación: Cofinanciado a través del Plan Nacional de I+D+I.

Objetivos: Los principales de este Proyecto han sido:

Desarrollo de metodologías automáticas de filtrado y clasificación de los espectros medidos. A partir del funcionamiento del espectrorradiómetro de la PSA, se dispone de una extensa base de datos de espectros de radiación solar. Estos espectros, se registran de forma automática obteniéndose 2 espectros de cada una de las componentes de la radiación solar cada hora del día desde la salida hasta la puesta del Sol. Por el contrario, la mayoría de los registros de información espectral se realizan a través de campañas específicas donde el volumen de información es mucho menor y se posibilita el filtrado y chequeo visual de la información registrada. En este caso se plantea la necesidad de que el filtrado se realice de manera automática, no existiendo herramientas desarrolladas a tal efecto.

Validación de modelos espectrales de la radiación global, difusa y directa normal. Existen varios modelos espectrales, pero han sido desarrollados teniendo en cuenta ciertas hipótesis de partida. En el contexto de este proyecto se procede a la validación de estos modelos en todas las condiciones atmosféricas registradas durante la campaña de medidas.

Caracterización de parámetros atmosféricos locales a partir de la distribución espectral de la radiación solar en la zona desértica del sureste español. La información espectral supone una importante fuente de información para la caracterización de los parámetros atmosféricos locales. Estos parámetros, que a su vez determinan la radiación solar que alcanza la superficie de la Tierra en un emplazamiento concreto, no están suficientemente caracterizados en atmósferas desérticas como la de la PSA.

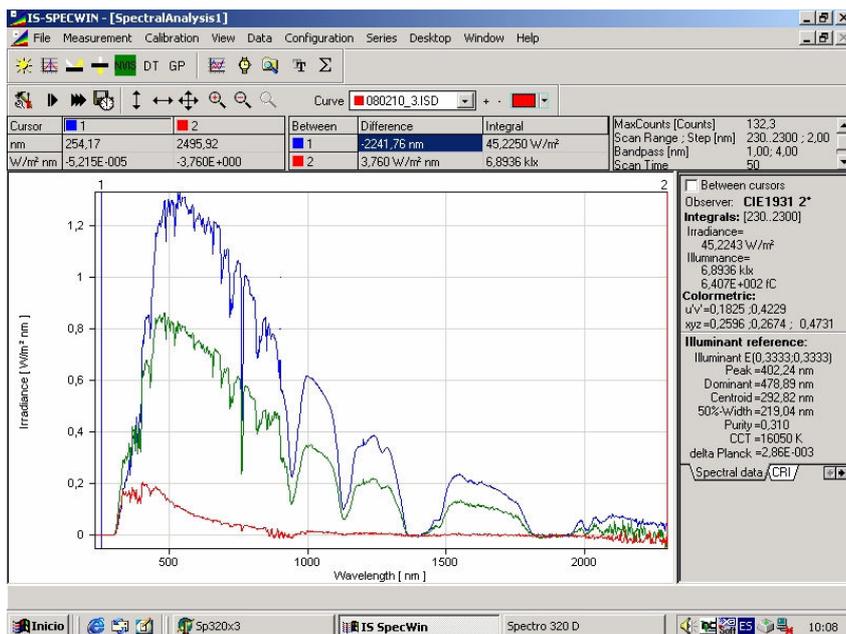


Figura 4.21 Medidas espectrales registradas en la PSA

Caracterización y análisis de la influencia de la distribución espectral de la radiación solar en las distintas tecnologías. Otro de los objetivos destacados del Proyecto se centra en la influencia de la distribución en las aplicaciones de aprovechamiento energético de la radiación solar. Hasta la fecha la influencia mejor caracterizada es el efecto de la distribución espectral en la generación fotovoltaica. En el contexto de este proyecto, se procede a la instalación de paneles fotovoltaicos de distintas tecnologías junto a la medida de la distribución espectral de la radiación solar, para cuantificar la relación en cada caso.

Este Proyecto, ha sido invitado a presentar una continuación, ampliando el estudio del efecto de la distribución espectral en otras tecnologías de aprovechamiento de la radiación solar.

4.5.3 Proyectos de Colaboración con Empresas Promotoras de Centrales Solares

Desde 2005, y fruto de la situación socio-política del mercado energético en España, la promoción de Plantas solares ha empezado a crecer considerablemente en España. En la medida que aumenta la actividad en este sector, un mejor conocimiento de la radiación solar como recurso energético de las mismas, comienza a tener una influencia relevante en el estudio de costes-beneficios de esta actividad, como en cualquier actividad empresarial.

A lo largo de 2006 se han realizado numerosos contactos con empresas que finalmente se han materializado en la realización de diversas asistencias técnicas y tres Acuerdos de Colaboración. Debido al carácter confidencial de estas relaciones, a continuación se enuncian únicamente el contenido de los Acuerdos de Colaboración, nombrándolos simbólicamente.

ACUERDO DE COLABORACIÓN 'A'

Se trata de un Acuerdo con una empresa promotora de Plantas Solares de Torre. La colaboración (enmarcada en el contexto de un Proyecto Europeo) tiene como objetivos la realización de las siguientes Tareas por parte del Grupo de Radiación Solar:

- 1) Selección del emplazamiento de la Planta y de la estación de medida.
- 2) Configuración de la estación de medida y soporte en la instalación de la misma.
- 3) Filtrado y análisis de datos registrados.
- 4) Extrapolación a largo plazo de las medidas utilizando estimaciones de satélite.
- 5) Generación serie representativa para el estudio del aprovechamiento energético.

ACUERDO DE COLABORACIÓN 'B'

En este caso se trata de una colaboración con una empresa promotora de Huertos Fotovoltaicos. Esta colaboración tiene por objetivo principal el suministro y tratamiento (por parte de CIEMAT) de toda la información disponible sobre el potencial de la radiación solar en emplazamientos concretos en los que ésta empresa esté interesada en promover un proyecto particular. Además del tratamiento de la información medida disponible, se utilizarán los resultados del tratamiento de imágenes de satélite y su adaptación al emplazamiento objeto de estudio. La colaboración, incluye la realización por parte de CIEMAT de tanta documentación científico técnica sea precisa para la

información del potencial de la radiación solar tanto a inversores como a entidades financieras.

ACUERDO DE COLABORACIÓN 'C'

Este acuerdo se ha realizado con una empresa promotora de los dos tipos de instalaciones nombrados en los Acuerdos A y B, por lo que la colaboración cumple con los tipos de objetivos comentados. Por un lado, se da soporte a la configuración e instalación de la estación de medida, así como se realiza un estudio de la radiación solar incidente en el plano de la superficie captadora, considerando la tecnología de cada promoción (radiación directa, global inclinada, global con seguimiento determinado). Las metodologías de trabajo varían en cada caso, adaptándose a las necesidades particulares de cada iniciativa.

4.6 Referencias

- [4.1] Peralta-Hernández J. M., Yunny Meas-Vong, Francisco J. Rodríguez, Thomas W. Chapman, Manuel I. Maldonado and Luis A. Godínez. "In-situ Electrochemical and Photo-electrochemical Generation of the Fenton Reagent. A Potentially Important New Water Treatment Technology". *Wat. Res.* 40 (9) (2006) 1754-1762.
- [4.2] Julia García-Montaña, Leonidas Pérez-Estrada, Isabel Oller, Manuel I. Maldonado, Francesc Torrades, José Peral. "Reactive dyes degradation by solar photo-Fenton at pilot plant single and combined to biological process". *Applied Catalysis B: Environmental*. Enviada.
- [4.3] McGuigan KG, Méndez-Hermida F, Castro-Hermida JA, Ares-Mazás E, Kehoe SC, Boyle M, Sichel C, Fernández-Ibáñez P, Meyer BP, Ramalingham S, Meyer EA. Batch solar disinfection (SODIS) inactivates oocysts of *Cryptosporidium parvum* and cysts of *Giardia muris* in drinking water (2006). *J Appl. Microbiol.*, 101, 453-463.
- [4.4] Méndez-Hermida F, Ares-Mazás E, McGuigan KG, Boyle M, Sichel C, Fernández-Ibáñez P. Disinfection of *Cryptosporidium parvum* oocysts in drinking water using natural sunlight and the photocatalyst TiO₂. *J Photochem. Photobiol. B*, submitted.
- [4.5] Sichel C, de Cara M, Tello J, Blanco J, Fernández-Ibáñez P. Solar photocatalytic disinfection of agricultural pathogenic fungi: *Fusarium* species. *Applied Catalysis B: Environ.* Submitted.
- [4.6] Sichel C, Blanco J, Malato S, Fernández-Ibáñez P. Effects of experimental conditions on *E. Coli* survival during solar photocatalytic water disinfection. *J Photochem. Photobiol. A: Chem.*, submitted.
- [4.7] Sichel C, Tello C, de Cara M, Blanco J, Malato S, Fernández-Ibáñez P. Effect of UV-intensity and dose on the photocatalytic disinfection of bacteria and fungi under natural sunlight. *Catalysis Today*, submitted.
- [4.8] Fernández-Ibáñez P., Sichel C., de Cara M., Trello J., Blanco J., "Solar Photocatalytic Water Disinfection: Drinking and Irrigation Applications". International Conference on Renewable Energies and Water Technologies (CIERTA 2006). Roquetas de Mar, Almería, 5-7 Octubre, 2006. Oral communication. Proc. Of International Conference on Renewable Energies and Water Technologies. A. Pulido Bosch M. Pérez García Ed., 2006, ISBN 84-933658-3-1 (pp. 68-73).
- [4.9] M.M. Ballesteros Marton, J.A. Sánchez-Pérez, F.G. Ación Fernández, J.L. García Sánchez, J.L. Casas López, S. Malato Rodríguez. Cinética de biodegradación de compuestos aromáticos y ácidos carboxílicos mediante cultivos de *Pseudomonas putida* CECT 324. Boispain-biotec 2006. IFEMA, Madrid, 18-20 Septiembre 2006. Poster P_Bam2_06.

- [4.10] J.D. Álvarez, W. Gernjak, S. Malato, M. Berenguel, M. Fuerhacker, L.J. Yebra. Control del peróxido de hidrógeno en sistemas solares foto-Fenton. XXVII Jornadas de Automática. Universidad de Almería, 6-9 Septiembre 2006. ISBN 84-689-9417-0, pp. 1118-1122.
- [4.11] Fernández-Ibáñez P. "Inactivation of Fungi by solar TiO₂ photocatalysis". Oral communication. Cost Action 540 Phonasum Working Group Meeting. Photocatalytic Technologies and Novel-Surface Materials. Critical Issues on Bactericide Surfaces. 26th-27th October 2006, EPFL, Lausanne, Switzerland.
- [4.12] Sichel C., Fernández-Ibáñez P., de Cara M., Tello J., Poster presentation "Solar and Solar Photocatalytic Disinfection of Agricultural Pathogenic Fungi". SPEA-4 Conference, 4th European Meeting on Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Applications. 8th-10th November 2006, Gran Canaria, Spain.
- [4.13] Javier Marugán María-José López-Muñoz, Wolfgang Gernjak, Sixto Malato. Study of imidacloprid solar photodegradation by experimental design techniques. IWA 4th Conference on Oxidation Technologies for Water and Wastewater Treatment Germany, Goslar 15-17 May 2006. A. Vogelpohl, M. Sievers, S.U. Geissen (Ed.), pp. 287-292. Poster.
- [4.14] Isabel Oller, Sixto Malato, Jose A. Sánchez-Pérez, M. Ignacio Maldonado, Wolfgang Gernjak and Leonidas A. Pérez-Estrada . AOPs-Biological system for wastewater containing a recalcitrant pollutant. IWA 4th Conference on Oxidation Technologies for Water and Wastewater Treatment Germany, Goslar 15-17 May 2006. A. Vogelpohl, M. Sievers, S.U. Geissen (Ed.), pp. 710-715. Poster.
- [4.15] M. Ignacio Maldonado, Julian Blanco, *Sixto Malato*, Pilar Fernández-Ibáñez, Diego Alarcón, Wolfgang Gernjak and Isabel Oller. The Albaida solar plant: recycling of plastic pesticide containers. IWA 4th Conference on Oxidation Technologies for Water and Wastewater Treatment Germany, Goslar 15-17 May 2006. A. Vogelpohl, M. Sievers, S.U. Geissen (Ed.), pp. 464-469. Poster.
- [4.16] Cosima Sichel, Pilar Fernández-Ibáñez, Julián Blanco, Sixto Malato. Solar photocatalytic treatment for water disinfection: reactor parameters. IWA 4th Conference on Oxidation Technologies for Water and Wastewater Treatment Germany, Goslar 15-17 May 2006. A. Vogelpohl, M. Sievers, S.U. Geissen (Ed.), pp. 212-217. Oral.
- [4.17] Diego Alarcón, Julián Blanco, Ana Lozano, Sixto Malato, Manuel I. Maldonado, Pilar Fernández. Experimental results of AQUASOL project: development of an advanced hybrid solar-gas multi-effect distillation system. 13th Inter. Symp. On Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies. Sevilla, 20-23, June, 2006. Abstract FA8-S.6. Oral.
- [4.18] Manuel I. Maldonado, Sixto Malato, Julián Blanco, Isabel Oller, Wolfgang Gernjak, Leonidas Pérez-Estrada. Hybrid photocatalytic-biological demonstration plant. 13th Inter. Symp. On Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies. Sevilla, 20-23, June, 2006. Abstract FB1-S.2. Oral.
- [4.19] Cosima Sichel, Pilar Fernández-Ibáñez, Julián Blanco, Sixto Malato. Photocatalytic water disinfection with solar energy. 13th Inter. Symp. On Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies. Sevilla, 20-23, June, 2006. Abstract FB1-S.1. Oral.
- [4.20] Leónidas A. Pérez-Estrada, Sixto Malato, Ana Agüera, and Amadeo R. Fernández-Alba. Photocatalytic treatment of Dipyrone using solar energy. Identification of intermediate products. Environmental Applications of advanced oxidation processes (EAAOP-1). Chania, Crete, 7-9 Sept. 2006. Book of Abstracts, 64. Paper P053, e-proceedings. Poster.

- [4.21] Sixto Malato, Julián Blanco, Manuel I. Maldonado, Isabel Oller, Wolfgang Gernjak, Leonidas Pérez-Estrada. Coupling solar photo-Fenton and bio-treatment at pre-industrial scale: Main results of a demonstration plant. Environmental Applications of advanced oxidation processes (EAAOP-1). Chania, Crete, 7-9 Sept. 2006. Book of Abstracts, 14. Paper P04, e-proceedings.Oral.
- [4.22] Sixto Malato, M. Vincent, M. Collares-Pereira, X. Doménech, J. Farinha, J. Y. Perrot, T. Tanghe, C. Pulgarin, J. A. Muñoz, C. Ramos. A coupled solar advanced oxidation-biological process for recycling of industrial wastewater: DSM Deretil demonstration plant within EU "Cadox" project. Water and Energy for Sustainable Development, Vol. I. Communications to the Int. Conf. On Renewable Energies and Water Technologies, Roquetas de Mar, Spain, 5-7 Oct. 2006. Antonio Pulido and Manuel Pérez (Eds.). pp. 61-67. 2006.
- [4.23] Paula Cristina Lima Varela Passarinho, M. I. Maldonado, J. F. Mendes, C. Pulgarín, I. Oller, W. Gernjak, S. Malato. Photo-Fenton and titanium dioxide photocatalysis: the first step for a coupled solar-biological water treatment at pilot plant scale. Water and Energy for Sustainable Development, Vol. I. Communications to the Int. Conf. On Renewable Energies and Water Technologies, Roquetas de Mar, Spain, 5-7 Oct. 2006. Antonio Pulido and Manuel Pérez (Eds.). pp. 113-119. 2006.
- [4.24] M^a de la Menta Ballesteros Martín, J. A. Sánchez Pérez, J. L. García Sánchez, J. L. Casas López, F. G. Ación Fernández, S. Malato Rodríguez. Un proceso de oxidación biológica para el tratamiento de aguas residuales: degradación de compuestos aromáticos y ácidos carboxílicos usando *Pseudomonas Putida* CECT 324. Water and Energy for Sustainable Development, Vol. I. Communications to the Int. Conf. On Renewable Energies and Water Technologies, Roquetas de Mar, Spain, 5-7 Oct. 2006. Antonio Pulido and Manuel Pérez (Eds.). pp. 86-93. 2006.
- [4.25] Isabel Oller Alberola, S. Malato, J.A. Sánchez - Pérez, W. Gernjak, M.I. Maldonado. Treatment of pesticides by solar advanced oxidation processes. Water and Energy for Sustainable Development, Vol. I. Communications to the Int. Conf. On Renewable Energies and Water Technologies, Roquetas de Mar, Spain, 5-7 Oct. 2006. Antonio Pulido and Manuel Pérez (Eds.). pp. 94-99. 2006.
- [4.26] Milena Lapertot, César Pulgarín, Pilar Fernández-Ibáñez, Manuel I. Maldonado, Leonidas Pérez-Estrada, Isabel Oller, Wolfgang Gernjak and Sixto Malato. Enhancing biodegradability of priority substances (pesticides) by solar photo-Fenton. *Wat. Res.*, 40, 1086-1064, 2006.
- [4.27] W. Gernjak, M. Fuerhacker, P. Fernández-Ibáñez, J. Blanco, S. Malato. Solar photo-Fenton treatment—Process parameters and process control. *Applied Catalysis B: Environmental*, 64, 121–130, 2006.
- [4.28] Margarita Hincapié Pérez, Gustavo Peñuela, Manuel I. Maldonado, Octavio Malato, Pilar Fernández-Ibáñez, Isabel Oller, Wolfgang Gernjak, Sixto Malato. Degradation of pesticides in water using solar advanced oxidation processes. *Applied Catalysis B: Environmental*, 64, 272-281, 2006.
- [4.29] Maldonado M. I., Gernjak W., Oller I., Blanco J., Fernández-Ibáñez P. and Malato S. Photo-Fenton degradation of Alachlor, Atrazine, Chlorfenvinphos, Diuron, Isoproturon and Pentachlorophenol at Solar Pilot Plant. *Int. J. Environ. Poll.*, 27 (1-3), 135-146, 2006.

- [4.30] A. García, A. M. Amat, A. Arques, R. Sanchís, W. Gernjak, M. I. Maldonado, I. Oller, S. Malato. Detoxification of aqueous solutions of the commercial pesticide "SevnoI" by solar photocatalysis. *Environ. Chem. Letters*, 3, 169-172, 2006.
- [4.31] Mahmut Kus, Wolfgang Gernjak, Pilar Fernández Ibáñez, Sixto Malato Rodríguez, Julián Blanco Gálvez, Siddik Icli. A Comparative Study of Supported TiO₂ as Photocatalyst in Water Decontamination at Solar Pilot Plant Scale. *Journal of Solar Energy Engineering*, 128, 331-337, 2006.
- [4.32] C. Reyes, J. Fernández, J. Freer, M.A. Mondaca, C. Zaror, S. Malato, H.D. Mansilla. Degradation and inactivation of tetracycline by TiO₂ photocatalysis. *J. Photochem. Photobiol. A: Chem*, 184, 141-146. 2006.
- [4.33] Ivan Muñoz, José Peral, José Antonio Ayllón, Sixto Malato, Xavier Domènech. Life cycle assessment of a coupled solar photocatalytic-biological process for wastewater treatment. *Wat. Res.*, 40, 3533-3540. 2006.
- [4.34] M. I. Maldonado, S. Malato, L. A. Pérez-Estrada, W. Gernjak, I. Oller, Xavier Domènech and José Peral. Partial degradation of five pesticides and an industrial pollutant by ozonation in a pilot-plant scale reactor. *J. Hazar. Mat.*, B138, 363-369. 2006.
- [4.35] I. Oller, W. Gernjak, M. I. Maldonado, L.A. Pérez-Estrada, J.A. Sánchez-Pérez and S. Malato. Solar photocatalytic degradation of some hazardous water-soluble pesticides at pilot-plant scale. *J. Hazar. Mat.*, B138, 507-517. 2006.
- [4.36] Javier Marugán, María-José López-Muñoz, Wolfgang Gernjak, Sixto Malato. Fe/TiO₂/pH Interactions in Solar Degradation of Imidacloprid with TiO₂/SiO₂ Photocatalysts at Pilot-Plant Scale. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 45, 8900-8908. 2006.
- [4.37] Isabel Oller, Pilar Fernández-Ibáñez, Manuel I. Maldonado, Leonidas Pérez-Estrada, Wolfgang Gernjak, César Pulgarín, Paula C. Passarinho, Sixto Malato. Solar heterogeneous and homogeneous photocatalysis as a pre-treatment option for biotreatment. *Res. Chem. Interm.*, 33(3-5), 407-420. In press.
- [4.38] C. Adán; A. Bahamonde; A. Martínez-Arias; M. Fernández-García; L. A. Pérez-Estrada, S. Malato. Solar light assisted photodegradation of ethidium bromide over titania-based catalysts. 4th European Meeting on Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Applications (SPEA4). Las Palmas de Gran Canaria (Spain), 8-10 November 2006. Book of Abstracts PT-1-31.
- [4.39] Julián Blanco-Galvez, Pilar Fernández-Ibáñez and Sixto Malato-Rodríguez. Solar Photocatalytic Detoxification and Disinfection of Water: Recent overview. *J. Solar Energy Eng.*, 129, 4-15, In press..
- [4.40] J.D. Álvarez, W. Gernjak, S. Malato, M. Berenguel, M. Fuerhacker and L.J. Yebra. Dynamic Models for Hydrogen Peroxide Control in Solar Photo-Fenton Systems. *J. Solar Energy Eng.*, 129, 37-44, In press..
- [4.41] M.I. Maldonado, P.C. Passarinho, I. Oller, W. Gernjak, P. Fernández, J. Blanco and S. Malato. Photocatalytic degradation of EU priority substances: a comparison between TiO₂ and photo-Fenton in a solar pilot plant. *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.*, 185, 354-363, In press..
- [4.42] Gernjak W., Krutzler T., Malato S., Bauer R. Photo-Fenton Treatment of Olive Mill Wastewater Applying a Combined Fenton/Flocculation Pre-treatment. *J. Solar Energy Eng.*, 129, 53-59, In press.

- [4.43] Wolfgang Gernjak, Sixto Malato Rodríguez, Manuel Ignacio Maldonado Rubio and Maria Fuerhacker. Solar photo-Fenton treatment of EU priority substances—process parameters and control strategies. Editorial CIEMAT, Madrid, Spain. ISBN 84-7834-521-3. 183 pag. 2006.
- [4.44] Ivan Muñoz Ortiz, Xavier Domènech Antúnez, Sixto Malato Rodríguez. Life Cycle Assessment as a Tool for Green Chemistry: Application to Different Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment. Editorial CIEMAT, Madrid, Spain. ISBN 84-7834-520-5. 259 pag. 2006.
- [4.45] C. Adán; A. Bahamonde; A. Martínez-Arias; M. Fernández-García; L. A. Pérez-Estrada, S. Malato. Solar light assisted photodegradation of ethidium bromide over titania-based catalysts". *Catalysis Today*. Aceptada.
- [4.46] Benigno Sánchez, Juan M. Coronado, Roberto Candal, Raquel Portela, Isabel Tejedor, Marc A. Anderson, Dean Tompkins and Timothy Lee, "Preparation of TiO₂ Coatings on PET Monoliths for the Photocatalytic Elimination of Trichloroethylene in the Gas Phase," *Appl. Catal. B. Vol. 66, Issues 3-4, July 2006 Pages 295-301*
- [4.47] R. Portela, B. Sánchez, J. M. Coronado, S. Suárez. Selection of TiO₂-support: UV-transparent alternatives and long-term use limitations for H₂S removal. *Catalysis Today* (Submitted)
- [4.48] J. Blanco, D. Alarcón. *Solar energy and the global water & energy problem. Advances in solar desalination*. Int. Conference on Renewable Energies and Water Technologies. Almería, Spain, 6-7 October, 2006.
- [4.49] Roca *et al.* (2006). *Objetivos de control en desalación*. International Conference on Renewable Energies and Water Technologies. Roquetas de Mar, Spain, October 5-7, 2006.
- [4.50] Roca *et al.* (2006) *Modelado dinámico de plantas solares de desalación: Proyecto AQUASOL*. XXVI Jornadas de Automática. Almería, Spain. September 6-9, 2006.
- [4.51] Roca *et al.* (2006). *Control and modeling of seawater desalination using solar technology*. Paper accepted for poster presentation at the 13th International Symposium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies. Seville, Spain, June 20-23, 2006.
- [4.52] Alarcón *et al.* (2006) *Experimental results of AQUASOL Project: Development of an advanced hybrid solar-gas multieffect distillation system*. 13th International Symposium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies. Seville, Spain, June 20-23, 2006.
- [4.53] Blanco and Alarcón (2006) Experiencia de la PSA en desalación solar: desarrollo de tecnología y actividades de investigación. *Medio Ambiente-RETEMA* 110, pp. 20-29.
- [4.54] Blanco and Alarcón (2006) Proyecto AQUASOL. Tecnología híbrida de desalación avanzada solar-gas basada en colectores solares estáticos. *Era Solar* 132, pp. 96-100.
- [4.55] Batlles, F. J., Zarzalejo, L. F., Rosiek, S., Polo *et al.* (2006). Estimación de la radiación global diaria en zonas de topografía compleja utilizando modelos digitales del terreno e imágenes del satélite Meteosat: comparación de resultados. XXIX Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española y 7º Encuentro Hispano-Luso de Meteorología. Pamplona (Spain).
- [4.56] Espinar, B. Martín and L., Ramírez, L. (2006). The radiometrical and Meteorological Station in the Plataforma Solar de Almería (Spain). 9th Science and Review Workshop for the BSRN. Lindenberg (Germany).
- [4.57] Martín, L., Zarzalejo, L. F., Polo J., Espinar, B and Ramírez, L. (2006). A review of solar irradiance prediction techniques. 2nd Expert Meeting of 36 IEA Task. Solar Resource Management Based on Satellite Data. Denver (USA).

- [4.58] Ramírez, L., Zarzalejo, L. F., Polo J., Espinar, B and Martín, L. (2006). Detection and correction of errors in global radiation data recording time. 2nd Expert Meeting of 36 IEA Task. Solar Resource Management Based on Satellite Data. Denver (USA)
- [4.59] Espinar, B., Ramírez, L., Zarzalejo, L. F., Polo, J. and Martín, L. (2006). Kolmogorov-Smirnov Test modification for series comparison. 2nd Expert Meeting of 36 IEA Task. Solar Resource Management Based on Satellite Data. Denver (USA).
- [4.60] Martín, L., Zarzalejo, L. F., Polo J., Espinar, B y Ramírez, L. (2006). Predicción de la irradiancia solar diaria a partir de imágenes de satélite mediante técnicas estadísticas. Conferencia Internacional sobre Energías Renovables y Tecnologías del Agua-CIERTA 2006. Aguadulce-Almería (Spain).
- [4.61] Zarzalejo, L. F., Ramírez, L. ,Polo J., Martín L. y Espinar, B. (2006). Estimación de la radiación solar a partir de imágenes de satélite: nuevos mapas de evaluación de la irradiancia solar para la península Ibérica. II Conferencia Regional Latinoamericana de la International Solar Energy Society (ISES). Buenos Aires (Argentina)
- [4.62] Zarzalejo, L. F., Ramírez, L. ,Polo J., Martín L. y Espinar, B. (2006). Irradiancia solar a partir de imágenes de satélite. Hacia un nuevo Atlas Ibérico de radiación solar. XIII Congreso Ibérico e VIII Ibero-Americano de Energía Solar. Lisboa (Portugal).
- [4.63] Martín, L, Zarzalejo, L. F.,Polo J. y Ramírez, L. (2006). Predicción de la irradiancia global diaria a partir de imágenes de satélite. XIII Congreso Ibérico e VIII Ibero-Americano de Energía Solar. Lisboa (Portugal).
- [4.64] Jesús Polo, Luis F. Zarzalejo and Lourdes Ramírez. (2006). Iterative filtering of ground data for qualifying statistical models for solar irradiance estimation from satellite data. Solar Energy. 80, 240-247.
- [4.65] Luis F. Zarzalejo, Lourdes Ramírez, Jesús Polo, Luis Martín y Bella Espinar. (2006). Estimación de la radiación solar a partir de imágenes de satélite: nuevos mapas de evaluación de la irradiancia solar para la península Ibérica. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. 10, 11-71:11-78.
- [4.66] Luis F. Zarzalejo. (2006). Irradiancia solar global horaria a partir de imágenes de satélite. Colección Documentos CIEMAT.
- [4.67] P. Salvador, J. Polo, A. Campos, B. Espinar. (2006). Caracterización de los aerosoles en la PSA a partir de medidas espectrales y de banda ancha de radiación solar. Colección Informes Técnicos CIEMAT, 1095.



Figura 5.1 Logo diseñado para el XXV Aniversario de la PSA

5 Eventos

Diego Martínez Plaza

Sin duda, el evento más destacable este año ha sido la celebración del XXV aniversario de la Plataforma Solar de Almería.

En efecto, fue un 21 de septiembre de 1981 cuando, con un acto de repercusión internacional, fue inaugurada la planta SSPS (Small Solar Power Systems). Esta planta SSPS era el resultado de un esfuerzo impulsado por un consorcio de nueve países bajo el paraguas de la Agencia Internacional de la Energía: Estados Unidos de América, Bélgica, Suecia, Suiza, Grecia, Austria, Italia, Alemania y España.



Figura 5.2 Evento de inauguración de las plantas SSPS en 1981



Figura 5.3 Foto ganadora del 1^{er} premio del concurso fotográfico

Esta planta SSPS se uniría posteriormente a la planta española CESA-1 (Central Electrosolar de Almería), inaugurada en 1983, para dar lugar a lo que hoy conocemos como 'Plataforma Solar de Almería'.

Con motivo de este aniversario se han llevado a cabo una serie de actividades divulgativas al igual que un 'Día de Celebración' para todo el personal con asistencia de destacadas personalidades.

En concreto, las actividades culturales desarrolladas han consistido en un concurso de fotografía y, de cara a la divulgación en el ámbito escolar, un concurso de redacción y otro de conocimientos generales en una cadena local de TV.

El 'Día de Celebración' tuvo lugar el 28 de octubre, contando con el respaldo mediante su asistencia, de la Sra. Ministra de Educación y Ciencia, Dña. Mercedes Cabrera Calvo-Sotelo, y del Sr. Secretario de Estado de Universidades e Investigación, D. Miguel Ángel Quintanilla Fisac.



Figura 5.4
La Sra. Ministra dirigió unas palabras a los asistentes al evento



Figura 5.5
La Sra. Ministra y el Sr. Secretario de Estado visitaron las instalaciones de la PSA



Figura 5.6
Momento de entrega de los galardones a los trabajadores con 25 años de servicio

El DLR (Instituto Aeroespacial Alemán) también contribuyó a dar relevancia al acto con la asistencia de varios altos cargos, con especial mención al Sr. Günther Hamacher, miembro del comité directivo.

El acto fue el escenario perfecto para reconocer la dedicación de los trabajadores que, al igual que la PSA, cumplían veinticinco años de servicio. El Director General del CIEMAT, D. Juan Antonio Rubio Rodríguez impuso un galardón creado a tal efecto a estos trabajadores en un acto entrañable.

5.1 Congresos científicos

El 'XIII SolarPACES Symposium' ha tenido lugar en la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla del 20 al 23 de junio de 2006. Este simposio es considerado como el congreso de la comunidad solar 'de concentración'.

En esta edición el personal de la Plataforma Solar ha tenido una especial implicación, con una elevado número de asistentes además de formar parte de los Comités Científico y Organizador.

La organización se ha llevado a cabo conjuntamente entre la Escuela de Ingenieros de Sevilla (sede), la asociación 'PROTERMOSOLAR' y PSA-CIEMAT.



Figura 5.7 Una sesión del simposio en el Salón de Actos de la Escuela Superior de Ingenieros



Figura 5.8 Mesa redonda del 'Día de las Empresas'



Figura 5.9 Visita de los congresistas a la planta PS10

Este simposio ha resultado especialmente exitoso, con más de 400 participantes. Ello es debido al momento especialmente álgido que vive la energía solar termoeléctrica en España. De hecho, el Comité Organizador diseñó la distribución de las sesiones de manera que uno de los días quedara consagrado al actual interés empresarial en estas tecnologías, el 'Día de las Empresas'.

Este día fue el 21 de junio y se llevó a cabo una mesa redonda con la participación de representantes de las principales empresas involucradas en la construcción de las primeras plantas comerciales termosolares en España. Para completar la jornada, SOLÚCAR ofreció una visita a la planta solar PS10 en Sanlúcar la Mayor (Sevilla). Esta planta será la primera que entrará en funcionamiento en España vendiendo electricidad de origen termosolar a la red eléctrica.

5.2 Participación en ferias y congresos

Como viene siendo habitual, PSA-CIEMAT ha participado en la edición 2006 de la Feria de las Energías Renovables y las Tecnologías del Agua'. Esta feria se celebra en Almería, siendo este año su tercera edición.



Figura 5.10 El stand presentado conjuntamente por CIEMAT y DLR



Figura 5.11 La Sra. Consejera de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, Dña. Fuensanta Coves, visitó el stand de la PSA

Esta feria es organizada por la Cámara de Comercio de Almería y en esta edición se ha añadido un congreso internacional celebrado en paralelo, el CIERTA (Congreso Internacional de las Energías Renovables y las Tecnologías del Agua). La PSA ha presentado sus actividades en un 'stand' en colaboración con el DLR.

Edición a edición esta feria está creciendo y queremos pensar que el apoyo continuado de la PSA tiene algo que ver en ello. Esta feria venía celebrándose hasta ahora con frecuencia bianual, sin embargo se ha alcanzado un acuerdo con la Cámara de Comercio de Rabat para que se organice conjuntamente entre ambas cámaras, alternándose entre ambas ciudades y con frecuencia anual.

5.3 Otras visitas

El 2 de febrero recibimos la visita de la Sra. Ministra de Educación y Ciencia, Dña. M^a Jesús Sansegundo, acompañada del Sr. Director General de Política Tecnológica, D. Carlos Alejalde Losilla.



Figura 5.12 El Director General del CIEMAT dio la bienvenida formalmente a la Sra. Ministra



Figura 5.13 La Sra. Ministra mostró un especial interés por la instalación de generación directa de vapor

También recibimos el interés de Alemania en este año tan importante para nuestro Centro. El Sr. Matthias Machnig, secretario de estado del Ministerio de Medio Ambiente y Seguridad Nuclear (BMU) nos visitó el 21 de julio, acompañado de un grupo de funcionarios de su ministerio, del Sr. Hans-Josef Fell, diputado en el 'Bundestag' por el partido verde y el Dr. Hans Müller-Steinhagen, responsable del Instituto de Termodinámica Técnica del cual depende el personal de energía solar del DLR.



Figura 5.14 Visita del Sr. Secretario de Estado del BMU alemán, Matthias Machnig

Antes de finalizar el año, aún hubo tiempo para recibir otra visita ilustre. En este caso el Sr. Ministro de Industria, Comercio y Turismo, D. Joan Clos i Matheu, visitó nuestras instalaciones el 9 de noviembre acompañado del



Figura 5.15 El Sr. Ministro visitando el Horno Solar



Figura 5.16 El Sr. Ministro y el Sr. Consejero atendieron a los medios de comunicación al concluir la visita

Sr. Consejero de Innovación, Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía, D. Francisco Vallejo Serrano.

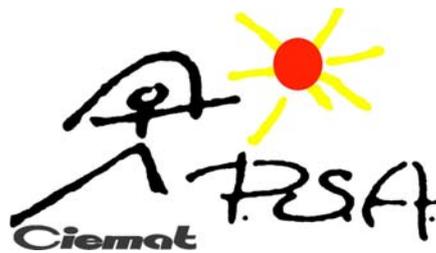
El Sr. Ministro se interesó particularmente por los costes de la generación de electricidad por la vía termosolar y por las posibles alternativas tecnológicas que se barajaban para conseguir abaratarlos.

6 Lista de Acrónimos

| | |
|-------------|--|
| A | Austria |
| AIE..... | Agencia Internacional de la Energía |
| AMES..... | Unidad de Aplicaciones Medioambientales de la Energía Solar y Caracterización de la Radiación Solar' |
| AOS | estado de oxidación medio |
| APTL..... | Aerosol and Particle Technology Laboratory (GR) |
| AR..... | antirreflexivo |
| BLG | Bulgaria |
| BSRN..... | Baseline Surface Radiation Network |
| CCP | Colectores cilindro-parabólicos |
| CE..... | Comisión Europea |
| CEDER..... | Centro de Desarrollo de Energías Renovables (CIEMAT) |
| CH | Suiza |
| CIEMAT.... | Centro de investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas |
| CIESOL | Centro para la Investigación de la Energía Solar |
| CNEA..... | Comisión Nacional de Energía Atómica de Argentina |
| CNRST..... | National Centre for Scientific and Technical Research (MA) |
| COD | carbono orgánico disuelto |
| COT..... | carbono orgánico total |
| COVs | compuestos orgánicos volátiles |
| CPC | captadores cilindroparabólico compuestos |
| CSIR | Council for Scientific and Industrial Research (ZA) |
| CSIC | Consejo Superior de Investigación Científica |
| D | Alemania |
| DBO | demanda biológica de oxígeno |
| DG TREN.. | Directorate-General for Transport and Energy |
| DK | Dinamarca |
| DLR..... | Instituto de Investigación Aeroespacial Alemán |
| DQO..... | demanda química de oxígeno |
| E..... | España |
| EAWAG | Instituto Suizo de Ciencias Acuáticas |
| EDAR..... | Estación depuradora de aguas residuales |
| EOM | estado de oxidación medio |
| ETHZ | Instituto Federal Suizo de Tecnología Zurich (CH) |

| | |
|-----------------------|---|
| F..... | Francia |
| GACS | Grupo de Alta Concentración Solar (PSA) |
| GDV | generación directa de vapor |
| GI..... | Grandes Infraestructuras Científicas Nacionales |
| HICONPV . | Sistema de Potencia PV de Alta Concentración |
| I | Italia |
| ICROSS ... | International Community for Relief of Starvation and Suffering (Kenya) |
| IIE | Instituto de Investigaciones Eléctricas (MEX) |
| INCO | Actividades específicas de Cooperación Internacional |
| INETI..... | Instituto Nacional de Engenharia, Tecnología e Inovação (P) |
| INTA..... | Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial |
| IR | infrarroja |
| IR | Irlanda |
| IWSD | Institution of Water and Sanitation Development (ZW) |
| LCA..... | Análisis de Ciclo de Vida |
| LECE | Laboratorio de Ensayo Energéticos de Componentes de Edificación (CIEMAT) |
| MA | Marruecos |
| MCYT..... | Ministerio de Ciencia y Tecnología |
| MEC | Ministerio de Educación y Ciencia |
| MED | Desalination multiefecto |
| MNSV | vector del virus del cribado |
| N | Noruega |
| NEAL..... | New Energy Algeria (ALG) |
| NL..... | Países Bajos |
| OMM | Organización Meteorológica Mundial |
| P..... | Portugal |
| PET | tereftalato de polietileno |
| PGE..... | Presupuesto General del Estado |
| POA..... | Procesos de oxidación avanzada |
| PROMES- CNRS | Processes, Materials and Solar Energy Laboratory - Centre National de la Recherche Scientifique (F) |
| PSA..... | Plataforma Solar de Almería |
| PSI..... | Paul Scherrer Institut (CH) |
| PYME..... | Pequeña y Mediana Empresa |
| PVDSA | Petróleos de Venezuela, S.A. |
| RC | receptor central |
| RCH | República de Chile |
| RCSI | Royal College of Surgeons Ireland |
| S | Suecia |
| SBP..... | Schlaich, Bergermann und Partner (D) |
| SEM | microscopio electrónico de barrido |
| SODIS | Solar disinfection |
| SolLAB..... | Laboratorio Asociado Europeo de Energía Solar |
| SSC..... | Unidad de Sistemas Solares de Concentración |
| TGA..... | Análisis termogravimétrico |

| | |
|-----------|---|
| TRC..... | Torre de receptor central |
| UAB..... | Universidad Autónoma de Barcelona |
| UAL..... | Universidad de Almería |
| UB..... | Universidad de Barcelona |
| UE..... | Unión Europea |
| UK..... | Reino Unido |
| URJC..... | Universidad Rey Juan Carlos |
| USCS..... | Unidad de Sistemas de Concentración Solar |
| UU..... | Universidad de Ulster (UK) |
| UNED..... | Universidad Nacional de Educación a Distancia |
| UPV..... | Universidad Politécnica de Valencia |
| USC..... | Universidad de Santiago de Compostela |
| UV..... | ultravioleta |
| WIS..... | Weizmann Institute of Science (IL) |
| WP..... | Paquete de trabajo |
| ZA..... | África del Sur |
| ZW..... | Zimbabwe |



PLATAFORMA SOLAR DE ALMERÍA

Carretera de Senés s/n
Apartado 22
04200 TABERNAS (Almería), Spain
Teléfono: +34 950 387900
Fax: +34 950 365300
e-mail: info@psa.es
web: www.psa.es