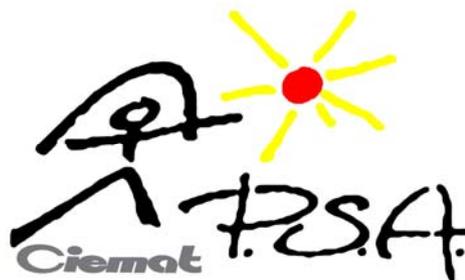


Plataforma
Solar de
Almería



INFORME ANUAL 2007

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	12
1.6	Actividades de Acceso Nacional a la PSA	13
2	Instalaciones e infraestructuras	15
2.1	Descripción General de la PSA.....	15
2.2	Instalaciones de Receptor Central: CESA-1 y CRS	16
2.2.1	La instalación CESA-I de 7 MW _T	16
2.2.2	La instalación SSPS-CRS de 2,7 MW _T	18
2.3	Instalaciones con Concentradores de Foco Lineal	20
2.3.1	La planta experimental DISS.....	20
2.3.2	El lazo de ensayos HTF.....	21
2.3.3	Lazo de ensayos para fluidos innovadores	23
2.4	El lazo FRESEMO.....	24
2.5	Sistemas Disco-Stirling: DISTAL y EURODISH	25
2.5.1	Fundamentos.....	25
2.5.2	DISTAL I.....	26
2.5.3	DISTAL II.....	26
2.5.4	EURODISH	27
2.6	El Horno Solar	27
2.6.1	Descripción General y Principio de Funcionamiento	27
2.6.2	Componentes.....	28
2.6.3	Laboratorio de Materiales.....	29
2.7	Instalaciones para Aplicaciones de Fotoquímica Solar	30
2.8	Laboratorio de Análisis de la PSA.....	31
2.9	Planta SOL-14 de desalación de agua de mar con energía solar térmica.....	32
2.10	Plataforma de Ensayo de Captadores Solares Estáticos	32
2.11	Otras Instalaciones.....	34
2.11.1	Estación Meteorológica de la PSA	34
2.11.2	El laboratorio de calibración espectral.....	36
2.11.3	Laboratorio de Ensayos Energéticos para Componentes de la Edificación (LECE).....	37
2.11.4	EL EDIFICIO ARFRISOL	37
3	Unidad de Sistemas de Concentración Solar.....	39
3.1	Introducción.....	39
3.2	Grupo de Media Concentración	40
3.2.1	DISTOR.....	41
3.2.2	Almería GDV:.....	43
3.2.3	Tubos Absorbedores de Bajo Coste	45
3.2.4	Recubrimientos Absorbentes avanzados para baja temperatura	47
3.2.5	FASOL – Diseño y desarrollo de un captador térmico cilindro- parabólico para calor de proceso.....	48
3.2.6	Fluidos de trabajo innovadores para Colectores Cilindro- parabólicos.....	50
3.2.7	Otras actividades del Grupo de Media Concentración	52
3.3	Grupo de Alta Concentración.....	53
3.3.1	Proyecto SOLAR TRES:.....	54

3.3.2	Desarrollo del receptor para una central solar termoeléctrica de sales fundidas.	55
3.3.3	PS10:.....	58
3.3.4	AVANSOL.....	59
3.3.5	Proyecto SolHyCo.....	61
3.3.6	MEPSOCON	63
3.4	Grupo de Combustibles Solares y Solarización de Procesos Industriales	65
3.4.1	Producción de hidrógeno	66
3.4.2	Proyecto INNOHYP	67
3.4.3	SYNPET	68
3.4.4	Proyecto SolterH.....	71
3.4.5	Proyecto PHISICO2	73
3.4.6	Proyecto Hydrosol-II	77
3.4.7	Proyecto SolarPRO II	78
3.5	Referencias.....	82
4	Unidad de Aplicaciones Medioambientales de la Energía Solar y Caracterización de la Radiación Solar	85
4.1	Introducción	85
4.2	Grupo de Detoxificación y Desinfección de Aguas	87
4.2.1	FOTOBIOX	87
4.2.2	PhotoNanoTech.....	89
4.2.3	INNOWATECH.....	90
4.2.4	SODISWATER.....	92
4.2.5	FITOSOL.....	95
4.2.6	Plan Nacional de Acceso a la PSA.....	97
4.3	Grupo de Detoxificación en Aire	100
4.3.1	Development of alternative methods for the preparation for high-efficiency photocatalytic materials	100
4.3.2	DETOX-H ₂ S	102
4.3.3	TRAGUA	104
4.4	Grupo de desalación solar	105
4.4.1	POWERSOL	106
4.4.2	MEDESOL	107
4.4.3	OSMOSOL.....	109
4.4.4	DEREDES.....	110
4.4.5	MEDIODIA	111
4.5	Caracterización de la Radiación Solar.....	112
4.5.1	MEDERAS	112
4.5.2	Proyectos de Colaboración con Empresas Promotoras de Centrales Solares.....	114
4.5.3	Participación en el proyecto SOLAR TRES.....	114
4.5.4	Proyecto MESOR	114
4.6	Referencias.....	115
5	Eventos	121
5.1	Inauguración del edificio ARFRISOL.....	121
5.2	Inauguración del lazo FRESDEMO.....	122
6	Lista de Acrónimos	124

Mensaje del Director

Diego Martínez Plaza

El nuevo marco regulatorio definido por el Real Decreto 661/2007 del 25 de mayo de 2007 (BOE nº 126, de 26 de mayo de 2007) para la venta de la electricidad generada por las plantas solares termoeléctricas supuso un nuevo empuje para la promoción de este tipo de plantas en España.

Ello ha provocado una frenética actividad promotora que a finales del 2007 situó en cerca de 4 GW_e la potencia total de las plantas con solicitud de inclusión en el Régimen Especial, de las cuales casi 2 GW_e ya disponían de punto de acceso a la red eléctrica.

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, nacionales y extranjeras, que desean saber más sobre la tecnología y se están firmando acuerdos de colaboración con importantes grupos industriales.

Por lo que respecta a la actividad investigadora, en la **Unidad de Sistemas Solares de Concentración** 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 otro lado, se ha abordado 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. Para la consecución de este objetivo se ha construido un nuevo lazo de ensayos con colectores cilindro-parabólicos.

En cuanto a la tecnología de torre, se efectúa un acompañamiento a las empresas que están promoviendo la primera generación de plantas comerciales solares termoeléctricas de receptor central, como PS10 (con Abengoa Solar, ya en operación) o Solar Tres/Gemasolar (con SENER, en promoción).

Otro hecho destacado, que ha tenido también lugar en el 2007, ha sido creación de una nueva tarea de SolarPACES (Solar Power and Chemical Energy Systems) que, bajo la denominación formal de "Solar Energy & Water Processes and Applications", va a estar dedicada a concentrar, diseminar y promover las actividades de investigación y demostración relacionadas con la aplicación de la energía solar a procesos y tecnologías del agua. Esta nueva tarea, denominada 'SolarPACES Task VI', se encuentra liderada por el responsable de la **Unidad de Aplicaciones Medioambientales de la Energía Solar** y tendrá una duración inicial de 5 años siendo su comienzo oficial el 1 de enero de 2008.

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, así como la participación en cursos y actividades formativas de diversa índole. Hay que hacer especial hincapié en el 'Master en Energía Solar' que se imparte en el CIESOL, centro mixto UAL-CIEMAT, y que afronta su tercera edición en el curso 2008/9.

Como de costumbre, solo me queda agradecer el apoyo que nos presta la Dirección del CIEMAT y la dedicación y profesionalidad de todo el personal de la PSA.



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.

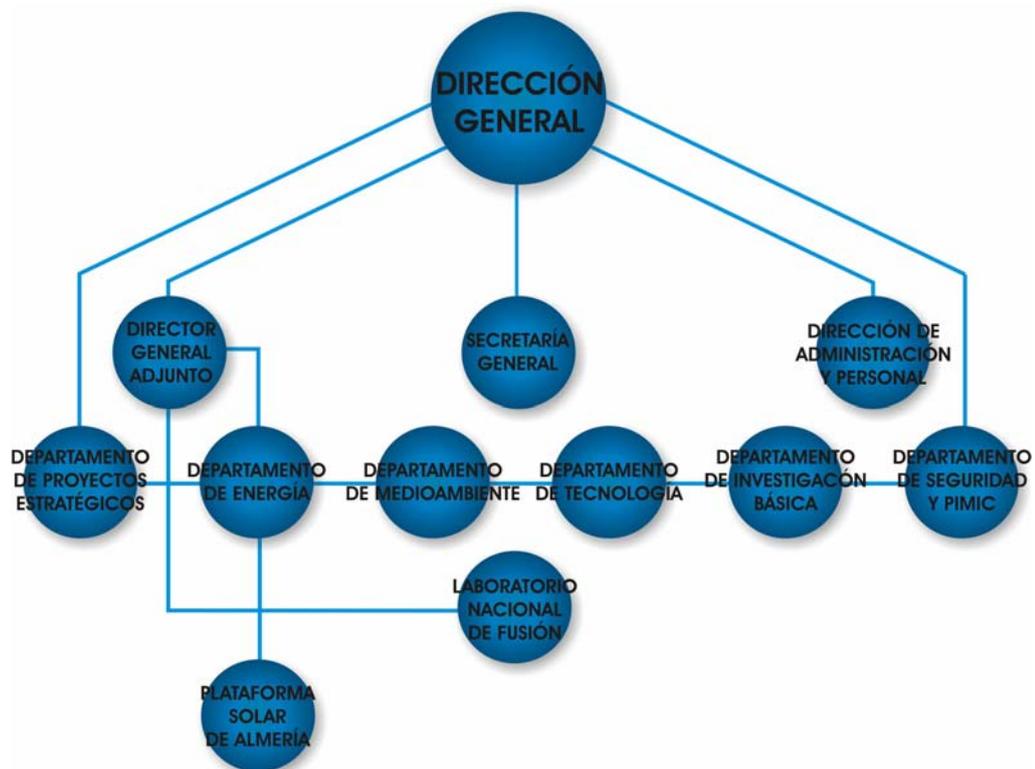


Figura 1.1 Integración de la PSA en la estructura orgánica del CIEMAT



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 posibi-

lidades 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 118 personas que constituye a diciembre de 2007 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 118 personas que diariamente desarrollan su trabajo en la PSA, 58 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 contrata 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.

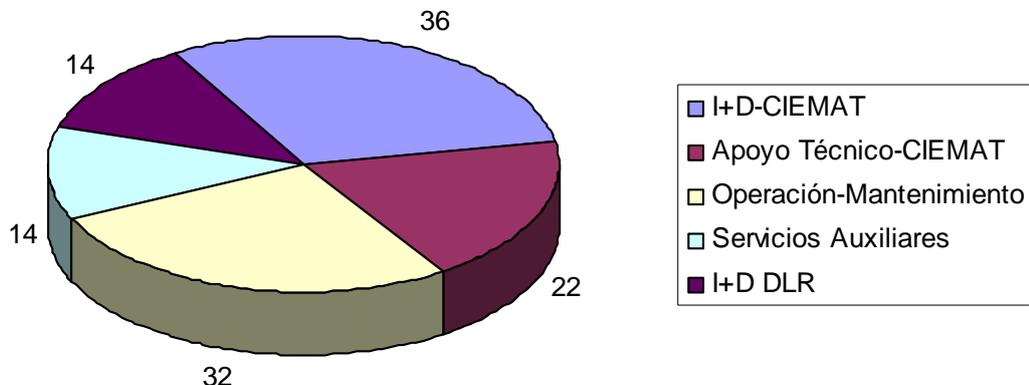


Figura 1.3 Distribución del personal que desarrolla su actividad en la PSA de forma permanente a Diciembre de 2007

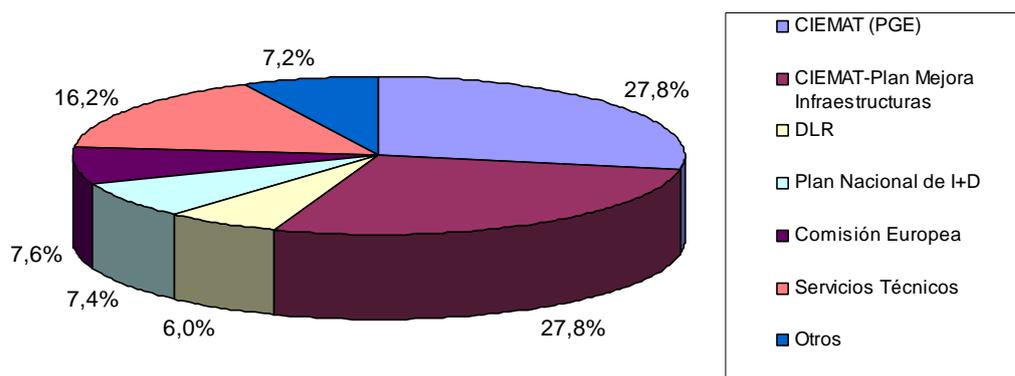


Figura 1.4 Distribución Ingresos PSA 2007

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.

Ha 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.

También se han incrementado significativamente los ingresos por servicios técnicos a empresas. Por supuesto, ello es consecuencia del gran interés que despierta esta tecnología actualmente para su despliegue comercial.

El presupuesto de la PSA alcanzó en el año 2007 los 9,63 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.

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 el programa 'SolarPACES' (Solar Power and Chemical Energy Systems) 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' (SoLAB). 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 Zúrich (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 formalizó su adhesión a 'SoLAB' como nuevo miembro en el año 2006.

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 CIEMAT-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 se ha celebrado el 'II Master en Energía Solar' de CIESOL.

Este master tiene una duración de un curso académico y 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.

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.



Figura 1.5 Foto del 'Ciesol'

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

La colaboración es intensa también con importantes compañías nacionales especialmente interesadas en el desarrollo tecnológico y la comercialización de la electricidad de origen termosolar. Entre ellas se encuentran, por ejemplo, IBERDROLA, ABENGOA Solar, GAMESA,

SENER, ENDESA, ACCIONA 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 o COEXPHAL.

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.

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

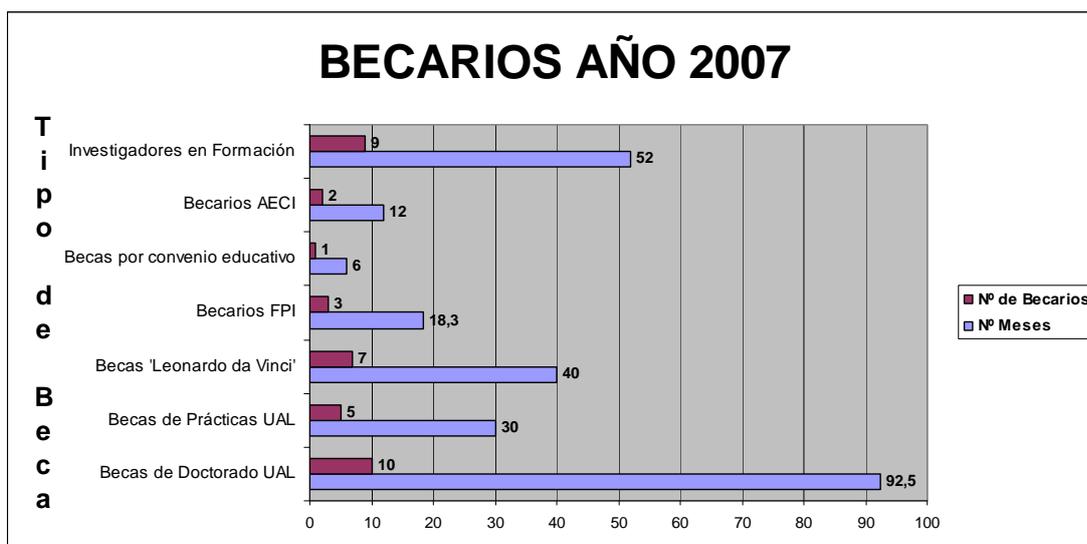


Figura 1.6 Becarios año 2007

- 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.

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 11 al 13 de septiembre de este año 2007 ha tenido lugar, con la asistencia de unos treinta doctorandos, la tercera edición de este seminario, organizado en esta ocasión por el PROMES-CNRS en el laboratorio solar de Odeillo (Francia).

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 instalaciones científico-tecnológicas singulares (ICTS) nacionales. Esta línea, gestionada por la Dirección General de Política Tecnológica, del Ministerio de Educación y Ciencia, ha diseñado unas convocatorias anuales para las ICTS. 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 ICTS nacionales, costeando el acceso a las mismas por parte de investigadores de otras instituciones.



Figura 1.7 Asistentes al seminario celebrado en Odeillo

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, 2006 y 2007 teniendo actualmente comprometida la convocatoria de ofertas de acceso hasta el año 2009.

Durante el año 2007 un total de 16 investigadores se han beneficiado de este programa, disfrutando de un total de 55 semanas de libre acceso a las diferentes instalaciones de ensayo existentes en la PSA.

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 sistema experimental para la investigación del flujo bifásico y la genera-

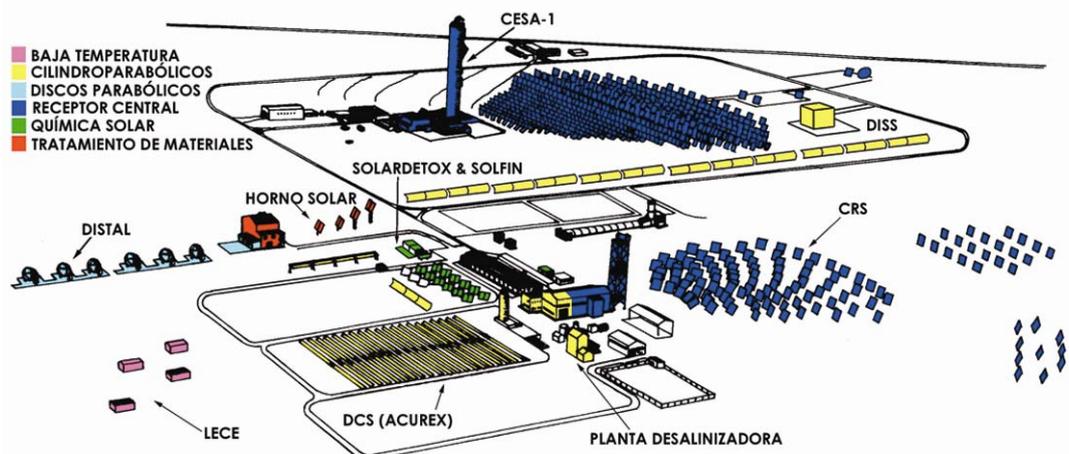


Figura 2.1 Ubicación de las principales instalaciones de ensayo de la PSA

- ción 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.
 - El lazo de tecnología 'Fresnel lineal', denominado FRESDEMO.
 - El sistema de colectores cilindro-parabólicos denominado 'Lazo de Ensayos para Fluidos Innovadores'.
 - 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).
 - El edificio ARFRISOL, parte integrante del 'Proyecto Singular Estratégico' del mismo nombre, y que es un contenedor-demostrador de las más avanzadas tecnologías para el ahorro y la eficiencia energética en la edificación.
 - Una estación meteorológica integrada en la 'Baseline Surface Radiation Network' (BSRN).

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 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/m^2 , se obtiene un flujo pico de $3,3 \text{ MW/m}^2$. 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 un 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.



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



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



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

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 temperaturas, 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 (Lambertiano), 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.

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

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 absorbentes 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 absorbentes.

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 absorbentes 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.



Figura 2.5 Lazo DISS en operación

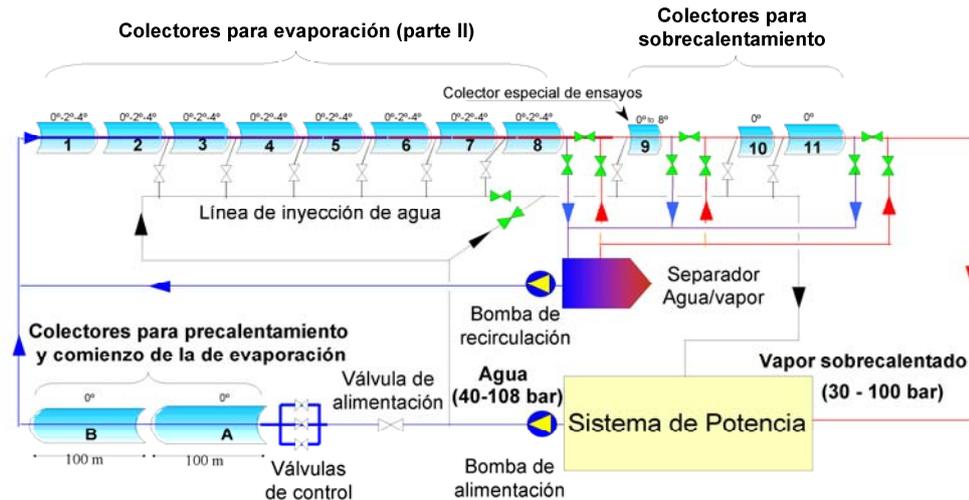


Figura 2.6 Esquema simplificado del lazo DISS existente en la PSA

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 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 HTF

El 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



Figura 2.7 Vista general del lazo HTF

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.
- 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.

2.3.3 Lazo de ensayos para fluidos innovadores

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 MW_e. 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. Las actividades dentro de este proyecto están dirigidas por el Prof. Calo Rubbia.

El objetivo de esta instalación experimental es el estudio de fluidos de trabajo innovadores en colectores cilindro-parabólicos que no se hayan estudiado hasta el momento, evaluando su comportamiento bajo diversas condiciones reales de operación. Las figuras adjuntas muestran el esquema simplificado del sistema y una vista de la misma, tomada desde su lado Oeste.

El lazo experimental de ensayos se encuentra situado al norte de la sala de control de la planta DISS. Los monitores y el sistema central de control de este lazo se encuentra dentro de la sala de control de la planta DISS. Los trabajos de montaje de esta instalación se han prolongado desde Junio de 2006 hasta octubre de 2007, comenzando a partir de este momento las actividades de puesta en marcha.

La instalación está preparada para trabajar a presiones y temperaturas de hasta 100 bares y 400°C, constando de los siguientes elementos:

- Dos colectores cilindro-parabólicos de tipo Eurotrough orientados Este-Oeste, con una superficie total de captación por colector de 274,2 m² y una longitud de 50 m cada uno. Los colectores se puede conectar en serie o en paralelo mediante un by-pass.
- Un enfriador refrigerado por aire, de 400 kW de potencia nominal, capaz de

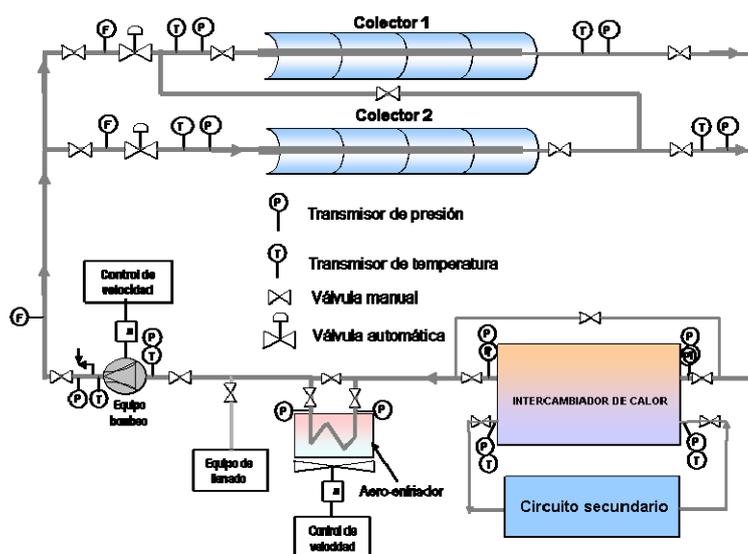


Figura 2.8 Esquema simplificado de la instalación experimental para fluidos innovadores.



Figura 2.9 Vista del lazo de ensayos para fluidos innovadores en operación.

disipar la energía térmica que proporcionan al fluido los colectores. Va provisto de dos motoventiladores de 4 kW cada uno.

- Una soplante accionada por un motor de 15 kW, que suministra el caudal necesario para la refrigeración adecuada de los colectores.
- Un sistema de adquisición de datos y control que permite una completa monitorización del lazo en cuanto a temperatura, caudal, presión, radiación y presencia de humedad en el circuito.
- Válvulas automáticas de control que permiten variar de forma precisa y segura el caudal de fluido de alimentación a los colectores.
- Un circuito secundario que permite el llenado con gases del lazo de ensayo.

Los colectores están provistos de un innovador sistema de seguimiento solar accionado hidráulicamente que, tras probarse en la Plataforma Solar de Almería, ya está disponible comercialmente para ser instalado en las plantas solares termoeléctricas comerciales que se están construyendo actualmente.

Esta instalación experimental ha sido diseñada con un criterio de alta flexibilidad de operación. En la actualidad se están utilizando gases como fluido de trabajo.

2.4 El lazo FRESDEMO

El lazo FRESDEMO es una planta piloto para la demostración de la tecnología de concentración solar denominada 'Fresnel lineal'.

Esta planta pertenece actualmente al grupo empresarial 'Solar Power Group', liderado por la compañía MAN Ferrostaal, y actualmente se llevan a cabo los ensayos necesarios para la evaluación de su funcionamiento con el apoyo científico-técnico de la PSA.

Se trata de un módulo de 100 m de longitud y 21 m de ancho, con una superficie total de espejo primario de 1.433 m². Esta superficie de espejo se distribuye en 1.200 facetas que están montadas sobre 25 filas paralelas que abarcan toda la longitud del lazo.



Figura 2.10 Foto del colector de demostración Fresnel linear MAN instalado en la Plataforma Solar de Almería (PSA).

Este lazo colector está diseñado para la producción directa de vapor a una presión máxima de 100 bar y una temperatura máxima de 450°C.

En la actualidad, este lazo se conecta mediante tuberías a la instalación DISS (Direct Solar Steam) de la PSA, desde donde se le suministra vapor de origen solar a diferentes regímenes de presión y temperatura con el fin de realizar ensayos en tres regímenes de trabajo diferentes: precalentamiento, evaporación y sobrecalentamiento.

Esta instalación fue inaugurada el 9 de julio del año 2007 y la campaña de ensayos tiene inicialmente prevista su conclusión a finales del año 2008.

2.5 *Sistemas Disco-Stirling: DISTAL y EURODISH*

2.5.1 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 kilovatios 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.

2.5.2 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 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.



Figura 2.11 Un sistema DISTAL I en operación en la Plataforma Solar de Almería

2.5.3 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 tensionada.

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



Figura 2.12 Unidad DISTAL II

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.

2.5.4 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 2.13 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.

2.6 El Horno Solar

2.6.1 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 heliostato 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 –heliostato- 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 heliostato. 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.

2.6.2 Componentes

El elemento que capta la radiación solar y la envía hacia el concentrador parabólico es el campo de heliostatos. Los heliostatos 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 heliostatos 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 heliostatos constan de 16 facetas de tipo sandwich de $3,35 \text{ m}^2$, lo que da un total de $53,58 \text{ m}^2$. Cada una está compuesta por dos espejos con un 90% de reflectividad y van fijadas a un marco portante por 30 ventosas.

El disco concentrador es el componente principal del horno solar. Concentra la luz incidente proveniente del heliostato, 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 $98,5 \text{ m}^2$ 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.

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.

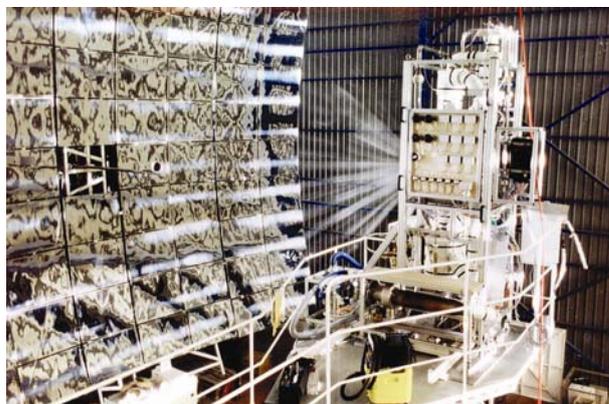


Figura 2.14 Disco concentrador del Horno Solar (izquierda) y receptor en operación dentro de la zona focal (derecha).

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° .

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.

La conjunción de todos los elementos anteriormente descritos da lugar a una distribución de la densidad de flujo en el foco que 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/m^2 son: Pico de flujo: 3000 kW/m^2 , potencia total: 58 kW y diámetro del foco: 23 cm [Neumann, 1994].

2.6.3 Laboratorio de Materiales

La Plataforma Solar de Almería cuenta entre sus instalaciones con un Laboratorio de Materiales dedicado principalmente a la preparación metalográfica y el análisis de las probetas obtenidas mediante su tratamiento con energía solar concentrada.

Este Laboratorio de Materiales está situado en la instalación del Horno Solar de la PSA, donde tiene ubicados la mayor parte de sus equipos. El equipamiento del que actualmente dispone este laboratorio es el que se relaciona a continuación:

- **Microscopio óptico Leyca DMI 5000** con sistema de adquisición de imagen Leyca-IM50 y mesa motorizada.
- **Microscopio óptico Olympus Unión MC 85647.**
- **Microdurómetro Struers Duramin HMV-2**
- **Durómetro manual**
- **Rugosímetro ZEISS Surfcom 480 A** con procesador de datos.



Figura 2.15 Vista del Laboratorio de Materiales de la PSA

- **Devastadora** Remet SM1000
- **Cortadora automática** Struers Secotom
- **Cortadora manual** Remet TR60
- **Empastilladora** Struers Labopres-3
- **Empastilladora a vacío** Struers Epovac
- **Pulidora** tegrapol-15 automática con dosificador tegradoser-5
- **Pulidora** metalografica 2 platos "LS1/LS2" (Remet)
- **Báscula** Mettler E2001/MC max **60Kg**
- **Báscula** Mettler Toledo classic max **320g** / min 10mg
- **Baño ultrasonidos** Selecta con calefacción
- **Cámara digital** Olympus con **mesa de reproducciones**

Adicionalmente, la PSA cuenta con un microscopio electrónico compartido por las unidades AMES y SCS, que se encuentra instalado en una sala propia y cuyas características son:

- **Microscopio electrónico de barrido SEM - Hitachi**, modelo S-3400N II, de alto/bajo vacío, con detectores de electrones secundarios, retrodispersados, cooling stage y aumentos de 5 a 300.000x.
- Sistema de microanálisis por dispersión de rayos X (EDX) Quantax 400

Además, en la sala del SEM se dispone de un ESED **punto crítico** y un **Sputtering**.

2.7 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 m²) 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 (captadores cilindroparabólico compuestos). La más antigua (1994) consta de tres módulos cada uno con una superficie de 3 m² 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 m² que permite realizar experimentos con hasta 300 L. Además, se dispone de 2 pequeños prototipos gemelos (instalados en 1998) para realizar experiencias en paralelo: 3.08 m² y 40 L, de los cuales 22 L es el volumen total irradiado. Esta instalación se ha renovado recientemente (mayo 2007) cambiando los CPCs por unos nuevos con la posibilidad de poder ser cubiertos con Plexiglass transparente a

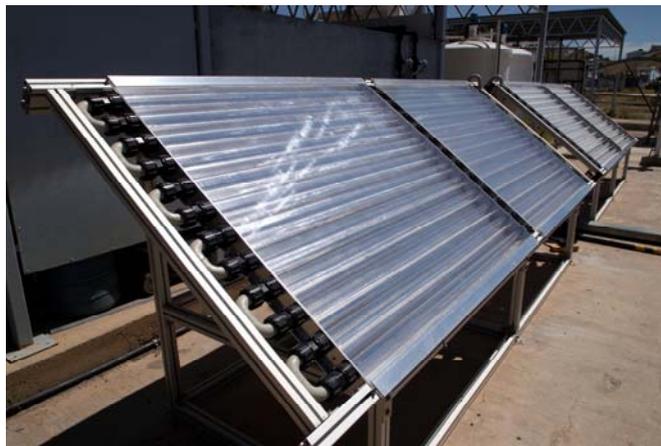


Figura 2.16 Fotorreactores CPC instalados en 2007. En primer término se aprecia uno de los dos prototipos con la cubierta de Plexiglass colocada.

UV-Solar que puede permitir trabajar a mayor temperatura, importante para el proceso de foto-Fenton. Esta cubierta es desmontable y esto permite conocer el efecto de la temperatura en experimentos similares con y sin cubierta. Estos nuevos CPCs también tiene la característica de poder ser montados y desmontados con más sencillez que los antiguos y de disponer de más superficie por módulo, de forma que 2 módulos suman 3.08 m², cuando antes hacían falta 3 módulos. Desde 2004 se cuenta con un otro 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 g O₃/h). Todo ello monitorizado (pH, T, ORP, O₂, caudal, H₂O₂, O₃) y controlado (pH, T, caudal) por un ordenador. Además, se cuenta también con varios prototipos para aplicaciones de desinfección de aguas. 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.

2.8 Laboratorio de Análisis de la PSA

El laboratorio de Química Solar de la PSA es un edificio de unos 75 m² 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 ultrapurificación de agua, baño de ultrasonidos, baño termoestático, centrífuga y microcentrífuga, sistema de destilación a vacío. 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, dos analizadores 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. También se cuenta con un laboratorio de microbiología con nivel de Bioseguridad 2, que cuenta con 3 puestos de trabajo, definidos cada uno de ellos por las correspondientes cabinas de seguridad microbiológica, autoclave, 2 incubadores, microscopio óptico de contraste de fases con módulo de fluorescencia, espectrofotómetro, turbidímetro, microcentrífuga y multi-sensor de pH, oxígeno disuelto y conductividad. Para el análisis de muestras microbiológicas existe un microscopio óptico de contraste de fases con fluorescencia acoplado a un sistema de fotografía digital

2.9 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 interconectados 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.

2.10 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

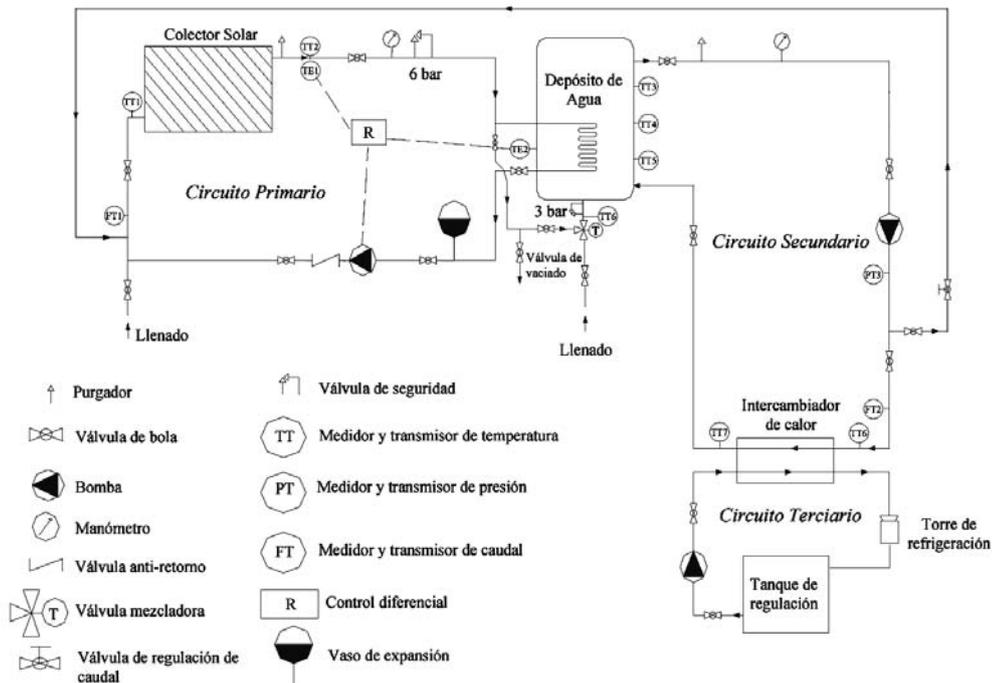


Figura 2.17 Esquema general de la plataforma de ensayo de captadores solares estáticos



Figura 2.18 Campo de captadores solares estáticos (500 m²) de la planta SOL-14

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.

2.11 Otras Instalaciones

2.11.1 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.

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



Figura 2.19 Visión global de la nueva estación radiométrica de la PSA



Figura 2.20 Sondas del espectrorradiómetro para medida de la radiación global y difusa dispuestas en el seguidor solar



Figura 2.21 Detector del espectrorradiómetro con el *switcher* de conexión de las tres sondas

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 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 s promediando al minuto, a la hora y di-

<http://www.psa.es>



Figura 2.22 Acceso y registro de usuarios a la información de radiación solar.

ariamente. 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.

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.

2.11.2 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 2.23 Ubicación del Laboratorio de Calibración Espectral.

2.11.3 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:

- 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.



Figura 2.24 Vistas del LECE: Células, edificios referencia y chimenea solar

2.11.4 EL EDIFICIO ARFRISOL

El edificio de oficinas 'ARFRISOL' de la PSA es, a la vez, parte del Proyecto Singular Estratégico sobre Arquitectura Bioclimática y Frío Solar (PSE-ARFRISOL) con financiación parcial por parte del Ministerio de Ciencia e Innovación español.

El PSE-ARFRISOL tiene por objetivo demostrar que es posible ahorrar de un 80 a un 90% de energía convencional a través de la correcta aplicación de

las tecnologías solares activas y pasivas, adaptando el diseño del edificio al entorno y a la climatología. PSE-ARFRISOL comprende un total de cinco edificios, construidos en zonas con diferente climatología dentro del territorio nacional: Almería (2), Madrid, Soria y Asturias.

El edificio de la PSA incorpora las siguientes medidas 'activas':

- Campo solar para la producción de agua caliente sanitaria. Este calor se utiliza como calefacción por suelo radiante en invierno y como fuente de energía para una máquina de absorción que se usa para refrigerar en los meses de verano.
- Integración de sistema fotovoltaico en la fachada. Se trata de un sistema experimental diseñado para trabajar de manera óptima situado en un plano vertical. Suministra 7.5 kW_p para consumos propios del edificio.
- Instalación de paneles radiantes al cielo nocturno, para pre-enfriamiento de las oficinas en verano a través del suelo radiante.

Entre las medidas 'pasivas', se encuentran las siguientes:

- Compacidad del edificio, lo que permite una mayor capacidad de captación solar en invierno y evacuación de energía en verano.
- Las características de los materiales de la envolvente y de la estructura de hormigón dotan al edificio de una gran inercia térmica (capacidad de mantener el calor y de cederlo o absorberlo de su entorno).
- Marquesina en la fachada sur, que proporciona sombreamiento en verano y permite penetrar a los rayos solares en invierno.
- Sombreamiento de la cubierta mediante doble pérgola, que además da soporte a las instalaciones solares (captadores solares y paneles radiantes).
- Instalación de conductos subterráneos de aire para introducir en las unidades de tratamiento. Este aire, al estar previamente atemperado, permite el ahorro de energía.

El edificio ARFRISOL de la PSA fue inaugurado el 13 de diciembre del año 2007 y en la actualidad se encuentra en fase de monitorización por parte de investigadores del CIEMAT. Esta fase se prolongará hasta finales del año 2010 y los datos obtenidos permitirán obtener valiosas conclusiones de cara a la aplicación masiva de las innovadoras tecnologías que incorpora el edificio.



Figura 2.25 Edificio del proyecto ARFRISOL

3 Unidad de Sistemas de Concentración Solar

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

Manuel Romero Álvarez
manuel.romero@ciemat.es

Contribuciones: Félix Téllez Sufrategui
felix.tellez@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 2007 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,

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

- 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
- 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.

El nuevo marco regulatorio definido por el Real Decreto 661/2007 del 25 de mayo de 2007 (BOE nº 126, de 26 de mayo de 2007) para la venta de la electricidad generada por las plantas solares termoeléctricas supuso un nuevo empuje para la promoción de este tipo de plantas en España. El incremento establecido por el R.D. 661/2007 para la prima concedida a la electricidad de las plantas solares termo-eléctricas, aunque dejaba algunas lagunas por cubrir en ciertos detalles, supuso un nuevo aliciente para las empresas interesadas en estas plantas. Ello provocó una frenética actividad promotora que a finales del 2007 situó en cerca de 4 GW_e la potencia total de las plantas con solicitud de inclusión en el Régimen Especial, de las cuales casi 2 GW_e ya disponían de punto de acceso a la red eléctrica.

Esta frenética actividad promotora conllevó la solicitud de apoyo técnico y científico a la Unidad de Sistemas de Concentración Solar de la PSA por parte de numerosas empresas del sector. Las numerosas peticiones de soporte y colaboración recibidas en el año 2007, junto con los proyectos de I+D ya en marcha, provocaron una carga de trabajo que excedía los recursos disponibles. No obstante, desde esta Unidad se ha realizado un notable esfuerzo por atender a todas las empresas que lo han requerido, tanto a nivel de información como de apoyo técnico y colaboración. El número de Acuerdos de Colaboración firmados y los servicios técnicos realizados son una buena prueba de ello.

En esta misma línea de apoyo a la industria se enmarca el Curso intensivo sobre "Sistemas Solares de Concentración" impartido desde el 5 al 15 de noviembre de 2007 en Madrid. En esta edición, al igual que en su edición anterior, el curso ha tenido una estupenda acogida en todos los sectores (ingenierías, promotores, fabricantes de equipos y Centros de investigación) involucrados en el desarrollo tecnológico y comercial de las plantas solares termoeléctricas. Esta nueva edición del curso ha permitido mejorar el compendio de textos que fueron preparados para su primera edición, siendo dicho compendio la documentación más completa que existe actualmente en España sobre los sistemas solares de concentración (diseño, desarrollo de componentes, operación y mantenimiento, sistemas de almacenamiento, perspectivas de futuro, etc.).

Los capítulos siguientes resumen las actividades y logros más importantes conseguidos dentro de los tres Grupos de I+D que integran la Unidad de Sistemas de Concentración Solar. Puede apreciarse que, siguiendo con la tónica de años anteriores, se ha llevado a cabo una intensa actividad, participando en numerosos proyectos de diversa índole y que abarcan todos los campos de los sistemas de concentración solar.

3.2 Grupo de Media Concentración

Al igual que en el año 2006, las actividades llevadas a cabo por el Grupo de Media Concentración en el año 2007 pueden agruparse 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.

Adicionalmente a las actividades propias de I+D de este Grupo, durante el año 2007 se han llevado a cabo actividades de apoyo y asesoramiento a las múltiples empresas que 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 nuevo marco legal establecido por el R.D. 661/2007 y de la tecnologías disponibles.

Al igual que ocurrió en el año 2006, durante el primer semestre del año 2007 supuso para este Grupo un gran aliciente el interés comercial que diversas empresas mostraron 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 (nuevos recubrimientos selectivos, nuevo recubrimiento anti-reflexivo para vidrio, etc.). Pero el que dicho interés solo se haya materializado a lo largo del año 2007 en la firma de Acuerdos concretos nos hace pensar en la conveniencia de una reflexión interna en cuanto a la viabilidad comercial de algunos de dichos desarrollos. No es este el caso del sistema de seguimiento solar desarrollado en colaboración con la Oficina Técnica de la PSA, el cual se encuentra en una fase avanzada de comercialización.

A continuación se resumen las actividades y logros alcanzados en el año 2007 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

Participantes: DLR (D), 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: J. León, Javier.leon@psa.es

Presupuesto: 3.036.650€. Financiado parcialmente por la CE (contrato SES6-CT-2004-503526)

Duración: febrero, 2004 - octubre, 2007

Antecedentes: 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 fue instalado y evaluado en la PSA en el año 2007.

Logros en 2007: durante el primer semestre del año 2007 se construyó en la PSA la interfase necesaria para conectar a la planta DISS el prototipo de módulo de almacenamiento térmico mediante cambio de fase diseñado y construido en el proyecto DISTOR, con una potencia nominal de 100 kWt y una capacidad de 200 kWh. En la Figura 3.1 siguiente se muestra una vista general de esta interfase y del módulo de almacenamiento tal y como quedarán después de los trabajos de construcción.

El módulo de almacenamiento térmico tenía unas dimensiones de 580 x 596 x 4310 mm, y poseía en su interior un haz tubular formado por tubos de 21,3 mm de diámetro exterior. El módulo disponía de láminas de grafito de 3 mm de espesor para favorecer la transmisión de calor por conducción desde el haz tubular hasta las sales circundante, y viceversa. Para su conexión a la planta DISS el módulo se instaló dentro de un container metálico (que aparece en el lado derecho de la figura adjunta), de modo que el espacio entre las paredes exteriores del módulo y las interiores del container se rellenaron de aislamiento térmico para reducir las pérdidas térmicas durante los ensayos. Los parámetros de diseño del módulo de almacenamiento eran:

- presión /temperatura nominales: 25 bar/220°C
- caudal nominal de agua/vapor: 0,083 kg/s

Una vez finalizada la conexión del prototipo de módulo de almacenamiento mediante cambio de fase, en el mes de julio de 2007 se inició la campaña de ensayos prevista para evaluar el comportamiento del módulo y los procesos de carga/descarga del mismo. Durante los meses de julio y agosto tuvieron que llevarse a cabo algunos ajustes en la conexión del módulo a la planta DISS, hasta que el sistema quedó listo para su operación en septiembre de 2007. Los primeros procesos de carga térmica (fusión de las sales) se llevaron a cabo muy lentamente, con el fin de evitar problemas de estrés en el haz tubular del módulo. Tras realizar una primera fusión lenta de las sales contenidas en el módulo (proceso de carga térmica) se realizaron sucesivas cargas y descargas del módulo, monitorizando todos los parámetros del proceso (caudales de agua/vapor, presiones y temperaturas. Una gran cantidad de termopares colocados en el interior del módulo durante el proceso de fabricación del mismo permitieron monitorizar durante los ensayos el perfil de temperaturas en diversas secciones transversales del mismo.



Figura 3.1 Vista general del sistema instalado en la planta DISS de la PSA para la evaluación del prototipo de módulo de almacenamiento mediante cambio de fase.

La reunión final del proyecto DISTOR se celebró en Sevilla el día 23 de octubre de 2007 y en ella los socios presentaron los resultados del proyecto. Aunque la fecha oficial de finalización del proyecto fue el 31 de octubre, la PSA continuó evaluando el prototipo de módulo de almacenamiento hasta final de año, periodo durante el cual se llevaron a cabo diversos ensayos de carga/descarga del módulo en condiciones reales de operación.

Durante los ensayos se demostró la viabilidad técnica del concepto: almacenamiento térmico mediante la fusión de sales, y posterior recuperación del calor mediante la cristalización de las mismas. También quedó de manifiesto lo importante que es realizar un diseño adecuado de los haces tubulares con el fin de asegurar una adecuada transferencia de calor durante los procesos de carga y descarga. Las menores velocidades del fluido de trabajo durante el proceso de descarga (agua) obliga a dimensionar los haces tubulares adecuadamente para que durante dicho proceso se tengan coeficientes de transferencia de calor por convección adecuados, sin que las caídas de presión en el haz tubular durante el proceso de carga, cuando el fluido de trabajo tiene una menor densidad (vapor), sean excesivas.

Entre las actividades llevadas a cabo en la PSA en el año 2007 dentro de este proyecto hay que mencionar también la celebración el día 27 de septiembre de unas Jornadas de Diseminación Tecnológica, a la que asistieron representantes de empresas e instituciones de I+D relacionadoa con las plantas solares termoeléctricas. En estas Jornadas se dieron a conocer los resultados del proyecto DISTOR y las actividades llevadas a cabo.

Publicaciones: [3.1]

3.2.2 Almería GDV:

Planta solar termoeléctrica pre-comercial con Generación Directa de Vapor

Participantes: IBERDROLA (E), SENER (E), IDAE (E) y CIEMAT-PSA (E)

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

Presupuesto: 20.000.000€.

Duración: enero 2006 – diciembre 2011

Antecedentes: 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 (3 MW_e), 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 2007: entre las actividades llevadas a cabo durante el año 2007 se encuentra la definición de las especificaciones para los tres paquetes en los que se dividió la ingeniería de detalle para la planta, y se evaluaron las ofertas aportadas por los socios para desarrollarlos. Tras la evaluación de las ofertas se procedió a la adjudicación de los mismos. Los tres paquetes definidos para la ingeniería de detalle fueron:

- 1) Campo solar,
- 2) Bloque de potencia, y
- 3) Coordinación general, gestión documental e integración

Los socios responsables del desarrollo de estos tres paquetes son: SENER para el paquete 1, e IBERDROLA para los paquetes 2 y 3. CIEMAT-PSA participará en el paquete 1 como subcontratista de SENER

Con el fondo económico inicial puesto por los socios se iniciaron en el 2007 los trámites impuestos por la legislación actual: Inscripción en el Régimen Especial, Petición de Punto de Conexión y Licencia de construcción. Para ello se depositaron los avales correspondientes definidos por la ley.

Paralelamente se continuaron las gestiones ante los organismos públicos regionales (Agencia Andaluza de Innovación) y nacionales (CDTI) con el fin de obtener la financiación pública necesaria para que la carga financiera del proyecto resulte asumible para los socios. El año concluyó sin obtener una respuesta concreta de estos organismos, aunque en todo momento pusieron de manifiesto su interés por el proyecto y deseo de apoyar esta iniciativa tecnológica que pondría a España a la cabeza mundial de la tecnología GDV. Esta situación causa una gran inquietud entre los socios, ya que si el apoyo de los estamentos públicos no se materializa pronto, estamos en serio peligro de perder una magnífica oportunidad de que España lidere el desarrollo de una tecnología que presenta muy buenas cualidades para reducir el coste de la electricidad generada con plantas solares termo-eléctricas

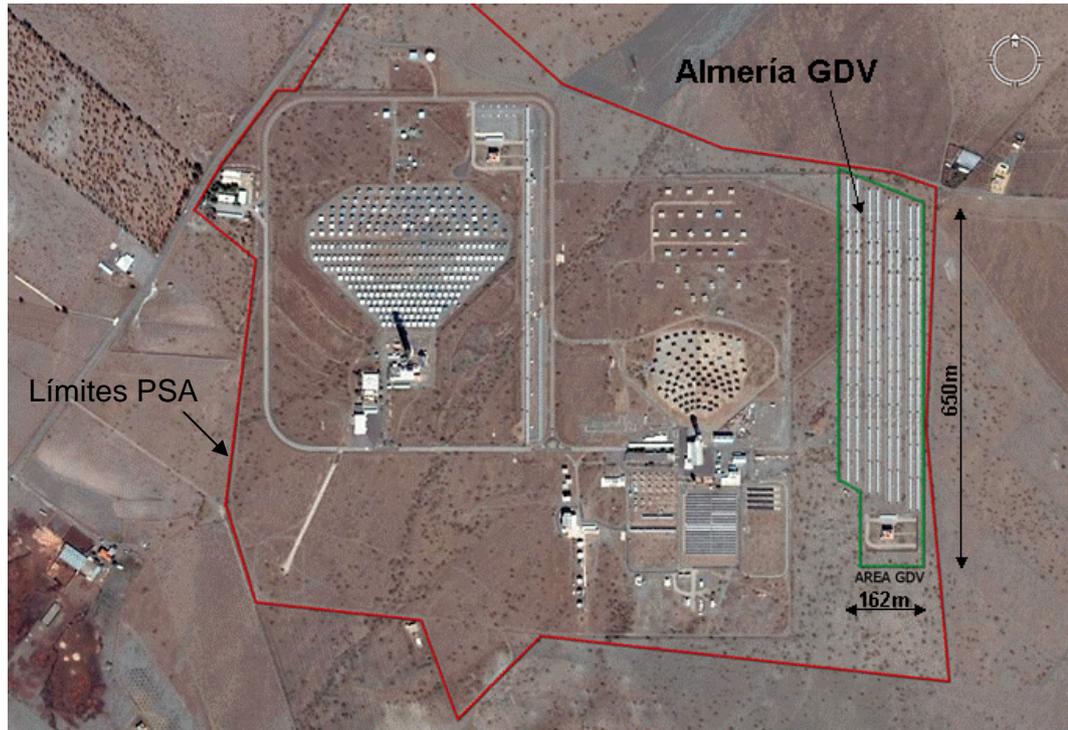


Figura 3.2 Vista de la ubicación prevista para la planta Almería GDV de 3 MW_e dentro de la PSA.

Con el fin de actualizar el presupuesto del proyecto se acordó a finales de 2007 realizar una revisión de todas las ofertas necesarias para llevarlo a cabo, ya que el fuerte incremento de coste que experimentaron ciertas partidas en el año 2007 (estructuras metálicas, turbo-grupos, obra civil, etc.) hacían prever un importante incremento de la inversión necesaria para ejecutar el proyecto.

3.2.3 Tubos Absorbedores de Bajo Coste

Participantes: CIEMAT-PSA (E), ABENGOA Solar (E)

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

Presupuesto: 750.000€.

Duración: diciembre, 2004 - diciembre, 2008

Antecedentes: 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 para tubos de acero y antirreflexivos (AR) para vidrio.

Logros en 2007: Las actividades y logros en el año 2007 dentro de este proyecto son descritos a continuación clasificados en las dos áreas de actividad que comprenden: películas AR para vidrio y absorbentes selectivos.

Películas AR para cubiertas de vidrio

Durante el año 2007 se ha continuado con la evaluación y optimización de la durabilidad de las películas antirreflectantes para su aplicación, tanto en los tubos de vidrio borosilicato de los colectores cilindro-parabólicos, como en las cubiertas de vidrio solar de los captadores planos. En este sentido, se han estudiado diferentes tratamientos superficiales hidrófobos y se han obtenido valores de transmitancia solar por encima de 0.96 para muestras de vidrio borosilicato expuestas durante más de trece meses a intemperie. En el caso del vidrio solar, los valores de transmitancia solar obtenidos para una única capa, son de 0.945. Esta diferencia es debida a que el vidrio borosilicato tiene una transmitancia solar de 0.91 mientras que el vidrio solar parte de un valor de 0.89.

Asimismo, se han optimizado las condiciones del tratamiento térmico para la densificación de las películas. Temperaturas de 500°C durante 15 minutos son suficientes para la obtención de películas AR con óptimas propiedades. Este tiempo de tratamiento térmico tan corto facilitaría la transferencia del proceso a escala industrial, ya que el tiempo de preparación de los recubrimientos es muy pequeño.

Por último, se ha estudiado el efecto de la suciedad ambiental (contaminación, polvo, etc) en muestras expuestas a intemperie. Los valores de transmitancia solar disminuyen entre un 1% y un 3% por efecto de la suciedad, lo que llevaría a una pequeña reducción de eficiencia en el dispositivo solar.

Absorbente selectivo de alta temperatura.

Durante el año 2007 se han optimizado las propiedades ópticas y la durabilidad del absorbente selectivo de alta temperatura y se ha trabajado, fundamentalmente, en la puesta a punto de una planta piloto para la preparación



Fotografías: J. Campaña

a)

b)

Figura 3.3 Efecto del tratamiento hidrófobo superficial. a) con tratamiento; b) sin tratamiento.

de tubos de 50 cm de longitud y del mismo diámetro que los tubos receptores utilizados actualmente en las plantas comerciales con colectores cilindro-parabólicos, realizándose los ensayos preliminares para la preparación de los tubos.

El absorbente selectivo de alta temperatura tiene una absorptancia solar de 0,96 y una emisividad térmica a 400°C de 0,11 y de 0,13 a 500°C, valores considerablemente inferiores a los que presentan los tubos comerciales de las firmas Schott y Solel.

Publicaciones: [3.2]

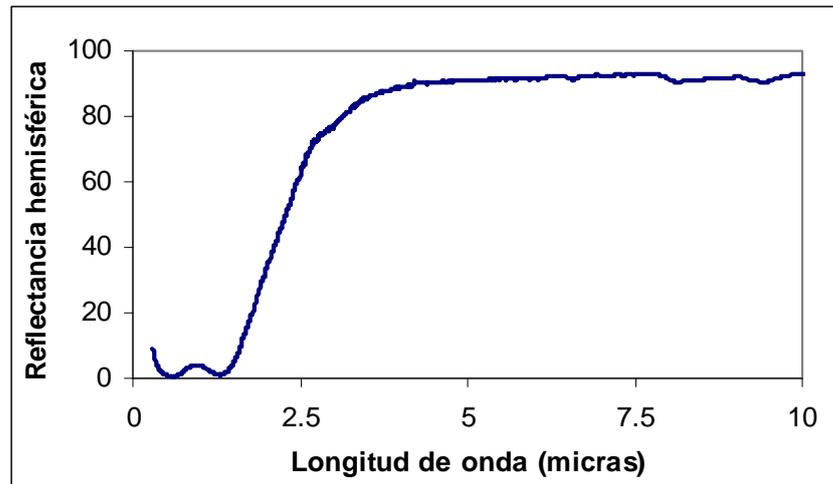


Figura 3.4 Espectro completo del absorbente selectivo desarrollado en el CIEMAT

3.2.4 Recubrimientos Absorbentes avanzados para baja temperatura

Participantes: CIEMAT-PSA (E), WAGNER Solar (E)

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

Presupuesto: 161.500€.

Duración: marzo 2005 - junio 2008

Antecedentes: 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.

Actividad y resultados en 2007: Las actividades relacionadas con la preparación del absorbente de baja temperatura se han centrado en la mejora de las propiedades ópticas y de durabilidad del absorbente inicial de 2 capas: Al/CuMnO_x/SiO₂ con $\alpha_s=0.940$ y $\epsilon_{100}=0.041$. Para ello, se ha introducido una capa absorbente-protectora adicional de CuMnSi_{0.1}O_x directamente sobre el sustrato de aluminio (absorbente de 3 capas), con lo que se ha conseguido mejorar la absorptancia hasta un valor cercano a 0.95, manteniendo prácticamente el mismo valor de emitancia: $\epsilon_{100}=0.044$. Así mismo, se ha evaluado la durabilidad de ambos absorbentes (2 y 3 capas) mediante los ensayos de estabilidad térmica (200 h/250°C) y de resistencia a la humedad (600 h/40°C-condensación), establecidos por la IEA en el Solar Heating and Cooling Program: Task X para absorbentes solares de baja temperatura. Todas las muestras analizadas (absorbente de 2 y de 3 capas) superaron tanto el ensayo de estabilidad térmica, como el de humedad con iguales resultados o incluso mejores que algunos absorbentes comerciales. Es importante mencionar que en el caso de los absorbentes basados en óxido cobre y manganeso el ensayo de resistencia a la humedad es, con diferencia, el más agresivo. Esto es debido a que se produce la oxidación del sustrato de aluminio, lo que da lugar a la aparición de picaduras blancas. En este sentido, se ha observado que el absorbente de 3 capas presenta mejor aspecto tras dicho ensayo, gracias a la presencia de la capa adicional de CuMnSi_{0.1}O_x.

3.2.5 FASOL – Diseño y desarrollo de un captador térmico cilindro-parabólico para calor de proceso

Participantes: Ciemat (E), Universidad de Almería (E) y Composites-Sol (E)

Contacto: A. Fernández, arantxa.fernandez@psa.es

Presupuesto: 225.000€

Duración: octubre 2007 – mayo 2010

Motivación: La principal motivación de este proyecto es disponer de un captador solar que sea capaz de cubrir la demanda de energía térmica existente a temperaturas por debajo de 250°C, presentando una relación coste/eficiencia que permita su penetración en el mercado de manera competitiva, y unas características de geometría y peso que faciliten su integración en zonas industriales, comerciales y residenciales. Los procesos susceptibles de admitir aportaciones térmicas de origen solar en el rango de temperatura reseñado son: producción de calor para procesos industriales, climatización y refrigeración solar, suministro de energía térmica a una temperatura inferior a 110°C para instalaciones con un elevado consumo (agua caliente sanitaria o calefacción para grandes edificios como naves industriales, hospitales, colegios, instalaciones deportivas, piscinas, prisiones, aeropuertos, etc.) y otras aplicaciones como bombeo de agua, desalación o detoxificación. Estas aplicaciones

presentan un elevado potencial de mercado, que no ha sido aprovechado hasta el momento debido a la escasez de captadores solares disponibles comercialmente que trabajen en estos niveles térmicos con un adecuado nivel de rendimiento y un coste asequible.

Objetivos: El objetivo fundamental de este proyecto consiste en el desarrollo de un captador solar cilindro-parabólico para temperaturas hasta 250°C. Para la consecución de dicho objetivo fundamental se establecen los siguientes específicos:

- Diseño de un captador solar cilindro-parabólico cuyas características de rendimiento, coste, tamaño y peso permitan disponer de un producto técnica y comercialmente viable.
- Fabricación de una serie de prototipos, que cumplan las especificaciones de diseño establecidas.
- Desarrollo de un conjunto de herramientas e instalaciones que permitan la evaluación óptica y térmica de este tipo de sistemas solares.
- Ensayo y evaluación de los prototipos fabricados utilizando las herramientas e instalaciones desarrolladas.
- Determinación de un conjunto de mejoras en el diseño y la fabricación del captador solar en función de los resultados obtenidos en el proceso de evaluación.

Actividad y resultados en 2007: Como continuación de la actividad llevada a cabo en años anteriores por el CIEMAT en este proyecto, en 2007 se estableció una relación con la empresa Composites y Sol S.L., gracias a la cual se procedió a la firma de un acuerdo de colaboración para el desarrollo del captador solar cilindro-parabólico.

La primera tarea llevada a cabo en este proyecto en 2007 es el diseño conceptual del captador solar, para lo cual se ha procedido a la determinación de la configuración geométrica más adecuada, así como los parámetros geométricos asociados a la misma, teniendo en cuenta tanto criterios de rendimiento óptico y térmico, como cuestiones técnicas, prácticas y económicas; y a la definición de los requerimientos técnicos para los diferentes componentes del captador solar diseñado. Durante esta fase se ha hecho uso del código de simulación fluido-dinámica mediante elementos finitos Fluent®, para el estudio del comportamiento térmico de diferentes configuraciones geométricas y para el análisis de la influencia de las variables del proceso.

Una vez finalizada la fase de diseño, y en base a los resultados obtenidos y a las especificaciones establecidas en ella, durante el segundo semestre del año 2007 se comenzó la construcción de un primer prototipo de captador solar cilindro-parabólico. Para ello, se procedió a la selección de materiales comerciales que cumplieran los requerimientos técnicos definidos y al desarrollo de aquellos componentes del captador para los que no existen soluciones comerciales, por parte de la empresa Composites y Sol S.L. con el asesoramiento del personal de la PSA.

En cuanto al estudio de materiales reflectores, en agosto de 2007 se inició una campaña de ensayos de evaluación de reflectores comerciales expuestos a las condiciones ambientales externas de la PSA. La duración de este ensayo será de un año y el objetivo del mismo es determinar el material reflector más adecuado para su empleo en el concentrador del captador solar, así como el método de limpieza más efectivo.

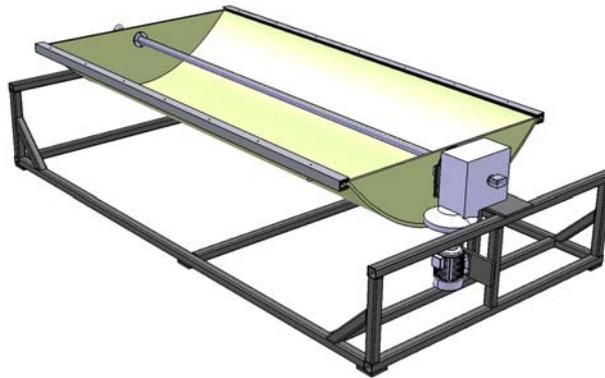


Figura 3.5 Captador solar cilindro-parabólico diseñado

Asimismo, se ha elaborado un código de cálculo para el procesado de los datos obtenidos mediante fotogrametría que permite la evaluación de la calidad óptica de los concentradores solares. El programa, que se ha implementado en el entorno Matlab®, permite la determinación del factor de intercepción utilizando diferentes técnicas de generación de superficies a partir de las coordenadas de un conjunto de puntos y el método del trazado de rayos. Usando fotogrametría y los cálculos desarrollados, se ha evaluado la calidad óptica del concentrador fabricado por Composites y Sol S.L. con materiales compuestos, obteniéndose resultados satisfactorios.

Publicaciones:[3.3]

3.2.6 Fluidos de trabajo innovadores para Colectores Cilindro-parabólicos

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

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

Presupuesto: 950.000€

Duración: diciembre 2005 - diciembre 2008

Antecedentes: La tecnología de colectores cilindro-parabólicos es la que en la actualidad está comercialmente más desarrollada para plantas solares termoeléctricas, con más de 2,5 millones de metros cuadrados de colectores en operación rutinaria, y con una potencia eléctrica nominal de 340 MW_e. 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. Las actividades dentro de este proyecto están dirigidas por el Prof. Carlo Rubbia.

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 2007: La actividad principal llevada a cabo en el año 2007 en la PSA dentro del marco de este proyecto ha sido la construcción del lazo de ensayos diseñado en el año 2006. La fase de construcción finalizó en septiembre de 2007, empezando en ese momento la fase de puesta en marcha. La figura siguiente muestra el lazo en funcionamiento, con los colectores en seguimiento.

Dentro de las labores de construcción que se han llevado a cabo en el 2007 para este lazo experimental se encuentran las siguientes:

- Montaje del circuito de tuberías, e inspección de las soldaduras mediante rayos X
- Instalación de las acometidas eléctricas de fuerza y alimentación segura, así como la de aire comprimido para el control de las válvulas de regulación
- Instalación de toda la instrumentación del lazo (caudalímetros, termopares, transmisores de presión y sensores de radiación solar)
- Instalación del sistema de adquisición de datos y control, así como el cuadro general eléctrico
- Montaje de todos los equipos principales, con excepción de los dos colectores cilindro-parabólicos, los cuales fueron montados a finales del año 2006
- Realización de pruebas hidráulicas a 160bar de presión, de acuerdo a la normativa actual para instalaciones a presión

El lazo de ensayos construido en el año 2007 puede trabajar a temperaturas de hasta 400°C y presiones de hasta 100 bar, siendo sus elementos principales los siguientes:

- Dos colectores cilindro-parabólicos de tipo Eurotrough orientados Este-Oeste, con una superficie total de captación por colector de 274,2 m² y una longitud de 50 m cada uno. Los colectores se puede conectar en serie o en paralelo mediante un by-pass.
- Un enfriador refrigerado por aire, de 400 kW de potencia nominal.
- Una soplante accionada por un motor de 15 kW, que impulsa el fluido de trabajo a través de las tuberías
- Un sistema de adquisición de datos y control que permite una completa monitorización del lazo en cuanto a temperatura, caudal, presión, radiación y presencia de humedad en el circuito.
- Válvulas automáticas de control que permiten variar de forma precisa y segura el caudal de fluido de alimentación a los colectores.

El criterio básico tenido en cuenta para el diseño de este lazo de ensayos fue conseguir una alta flexibilidad de operación, de modo que puedan variarse fácilmente los parámetros operacionales.

Dos de los problemas principales que tuvieron que ser solucionados durante la construcción y puesta en marcha de este lazo en el año 2007 fueron conseguir el secado completo de todo el circuito tras la prueba hidráulica a 160 bar y reparar los defectos de estanqueidad y sellado que presentaban las válvulas de 3" instaladas en el circuito principal de tuberías. Ante la falta de respuesta del fabricante chino de las citadas válvulas, tuvieron que ser desmontadas por el personal del equipo de mantenimiento de la PSA y fue necesario reemplazar el cierre original "pressure-seal" de acero por uno mixto acero-grafito de fabricación española.

Para el secado integral del sistema tras la prueba hidráulica fue necesario recurrir a una soplante especial de alto caudal a una presión de 1 bar. Tras el secado fue posible realizar un vacío a 3 mbar en todo el circuito de tuberías del lazo de ensayos, lo que demostró la ausencia total de agua en su interior.



Figura 3.6 Vista del lazo experimental construido en la PSA en el año 2007 para investigar el uso de fluidos de trabajo innovadores en colectores cilindro-parabólicos.

3.2.7 Otras actividades del Grupo de Media Concentración

Adicionalmente a las actividades de I+D descritas en los párrafos anteriores, el Grupo de Media Concentración de la Unidad de Sistemas Solares de Concentración de la PSA ha llevado a cabo en el año 2007 otras actividades, como son:

- Mejora del software de modelado y simulación para plantas solares termoeléctricas con colectores cilindro-parabólicos, tanto en el entorno: TRNSYS para la tecnología HTF, como en el entorno Matlab para la tecnología GDV (Generación Directa de Vapor).
- Evaluación de nuevos componentes y diseños de 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 2007 en relación con estos temas.
- Disseminación de la tecnología de colectores cilindro-parabólicos: participando en numerosas 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 5 y 15 de noviembre de 2007.
- Asesoramiento a promotores e ingenierías sobre la tecnología de colectores cilindro-parabólicos: los incentivos y primas establecidos por el Real Decreto 661/2007 han incrementado el interés comercial por las plantas solares termoeléctricas. Esto ha provocado que el número de empresas involucradas en la promoción de estas plantas haya incrementado durante 2007. 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 en algún momento 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, tanto de empresas nacionales como extranjeras. Pero es nuestra intención seguir dando el máximo apoyo que nos sea posible

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 2007, con una primera planta (PS10 de 11 MW) en plena explotación comercial y con diferente grado de avance en la promoción de otras dos plantas en España y reactivado el interés en la tecnología mediante varios proyectos comerciales a nivel internacional. Hasta la puesta en marcha de PS10, la "curva de aprendizaje" de la solar termoeléctrica de Receptor central se basaba en el ensayo de 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 iniciando su despliegue, 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 2007 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/Gemasolar (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 SOLHYCO).
- Mejora de las capacidades experimentales y procedimientos de calidad (como laboratorio de radiometría e instalación para envejecimiento solar acelerado)

3.3.1 Proyecto SOLAR TRES:

Molten Salt Solar Thermal Power 15 MW_e Demonstration Plant

Participantes: SENER Ingeniería y Sistemas, S.A. (E), GHER,S.A. (E), CIEMAT-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)

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

Duración: diciembre 2002 (extendido hasta diciembre de 2008)

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

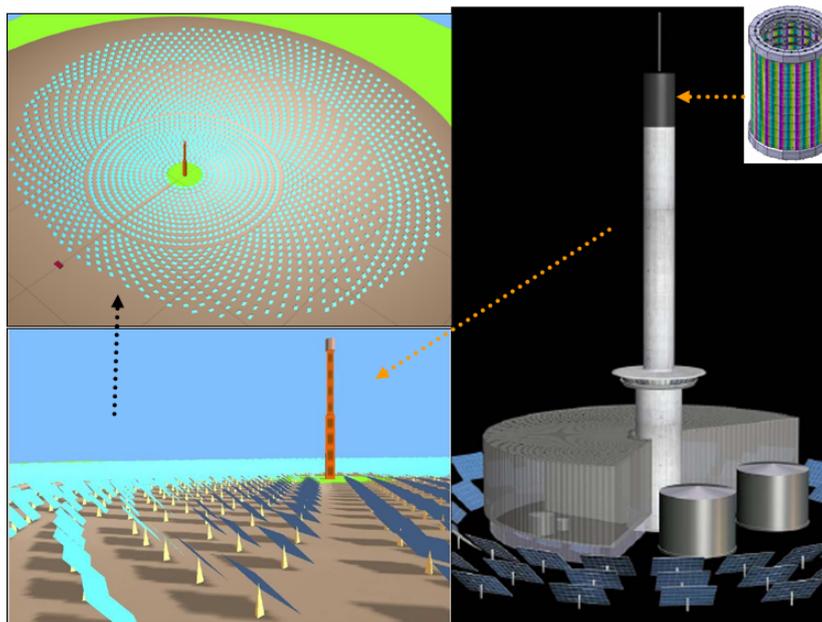


Figura 3.7 Esquemas prediseño de planta Solar Tres

europas, 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 661/07), la instalación utilizará hasta un 15% de gas natural o GLP, lo que 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, acogándose al Régimen Especial de Generación Eléctrica establecido por el citado decreto.

Logros en 2007: 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), En octubre de 2007 y tras la fase de validación experimental, con éxito, del prototipo de receptor y lazo de sales Sener tomó internamente la decisión de abordar la promoción de la planta que pasaría a denominarse GEMASOLAR. Para entonces ya se habían 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. Durante 2007 se finalizó la ingeniería de detalle de los componentes principales: Helióstato, Receptor y Sistema de almacenamiento térmico (SENER), Selección de Turbina (Siemens); traceado eléctrico, instrumentación y definición de la obra civil (SENER), selección de espejos para helióstato (Saint Govain).

Publicaciones: [3.4]

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

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

Contactos: J.I. Burgaleta (ignacio.burgaleta@sener.es);
F.M. Téllez (felix.tellez@ciemat.es)

Presupuesto: Valoración total de 7 M€, de los cuales 4 M€ aportados por Sener, 2 M€ aportados por CIEMAT y 1 M€ aportados por CDTI-PIIC.

Duración: 17 noviembre 2005 - 31 diciembre 2007 (Extendido hasta diciembre de 2008)

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

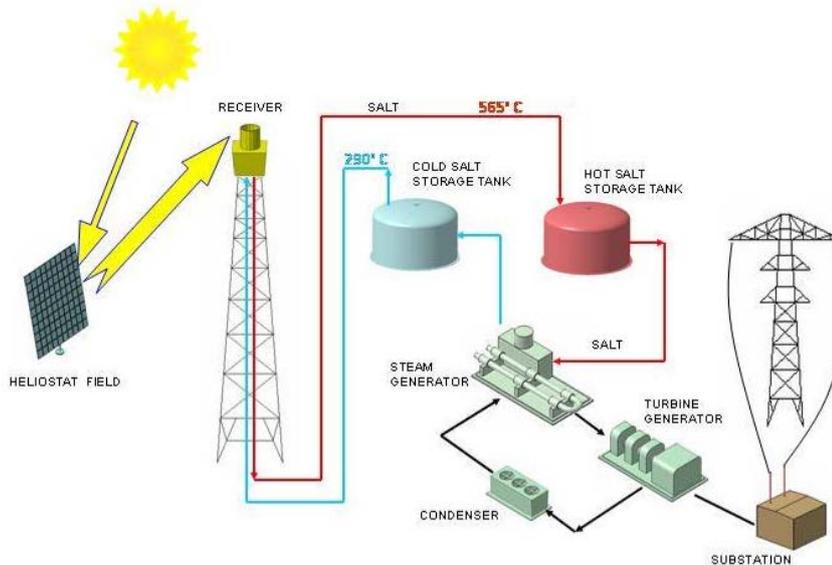


Figura 3.8 Esquema funcionamiento de Planta Solar Tres/Gemasolar

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 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 termoelectricas (comenzando por Solar Tres).

A principios de 2007, el CDTI aprobó la inclusión de este proyecto el Desarrollo del Receptor de Sales para su apoyo como Proyecto de Investigación Industrial Concertada, con duración hasta Diciembre de 2008, lo que permitirá aumentar la fiabilidad y reducción de riesgos en el diseño de dicho receptor para la planta Solar Tres/Gemasolar.

Objetivos: i) Reducir el riesgo asociado al primer desarrollo propio de una tecnología solar termoelectrica 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 2007: En Febrero de 2007 se comenzó el plan de ensayos solares sobre el panel receptor con sales fundidas. A finales de Julio de 2007 se habían realizado unos 27 días de ensayos con altos flujos de radiación solar concentrada, cubriéndose la parte más relevante del plan de ensayos, alcanzándose el flujo incidente de 1000 kW/m² con un caudal de sales del 20%.

Tras esta fase se inició una evaluación de los resultados en Sener y Ciemat que condujo a la verificación final de las expectativas del diseño en cuanto a fiabilidad y eficiencia, en Septiembre de 2007. Tras la reunión de puesta en común de resultados de evaluación y la decisión interna de SENER de proceder a la promoción de la planta Gemasolar, se continuó con el plan de ensa-

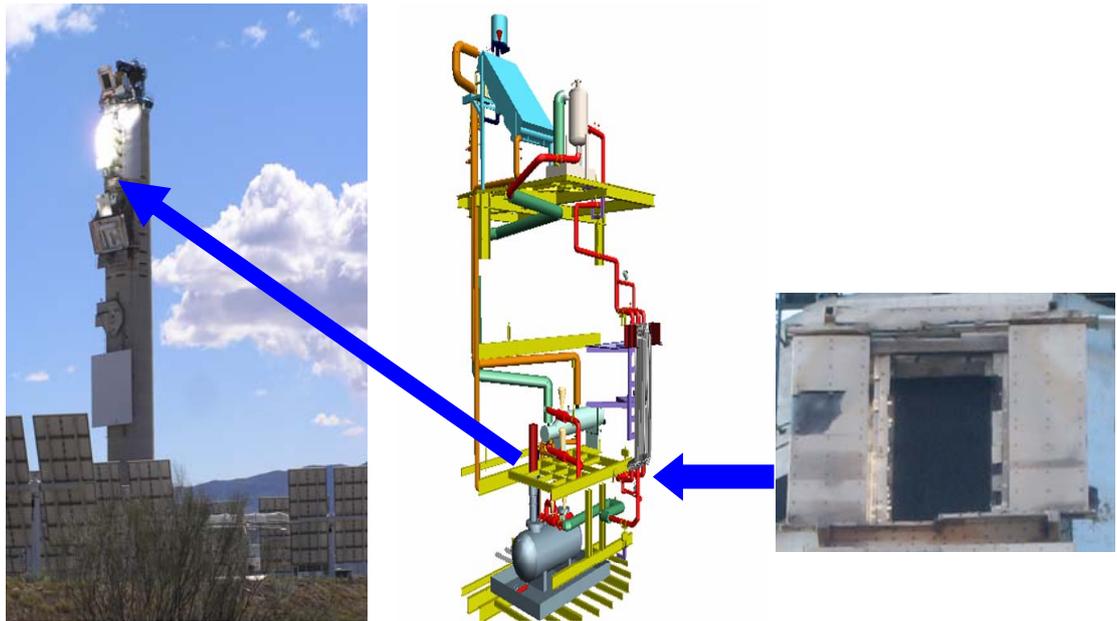


Figura 3.9 Panel Receptor de Sales durante ensayo en nivel 70 m de la Torre CESA-1; esquema del dispositivo experimental y vista frontal Panel Receptor con protecciones laterales.

yos sobre el lazo de sales con panel receptor para aumentar la confianza en la operabilidad y en la durabilidad de los componentes. Esta campaña, gracias a los fondos del CDTI_PIIC se extenderá hasta finales de 2008, permitiendo simular experimentalmente las condiciones que sufrirán los módulos o paneles receptores que constituirán el receptor circular de la planta Gemasolar.

Se ha continuado realizando 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.

Publicaciones: [3.5]

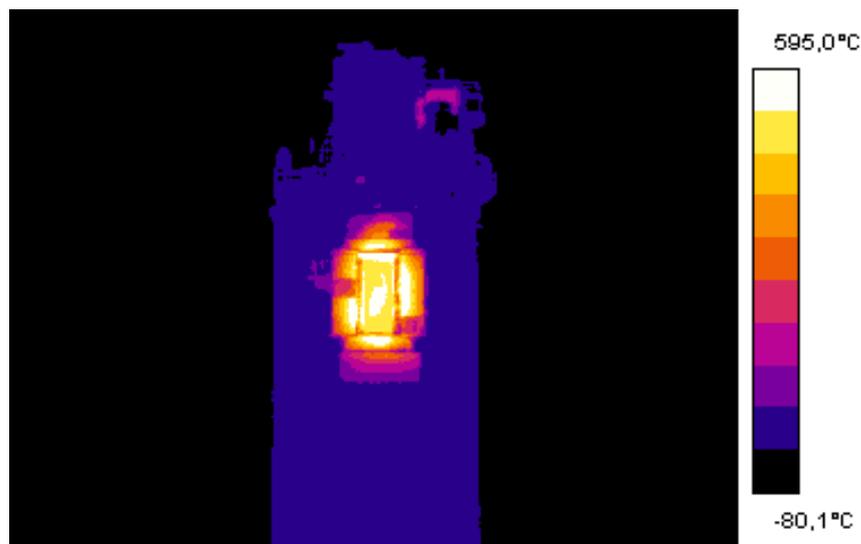


Figura 3.10 Imagen Infrarroja de Panel Receptor de sales en torre CESA-1, durante primeros ensayos.

3.3.3 PS10:

10 MW Solar Thermal Power Plant for Southern Spain

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

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

Presupuesto: Subvención de 5 M€ de la 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.

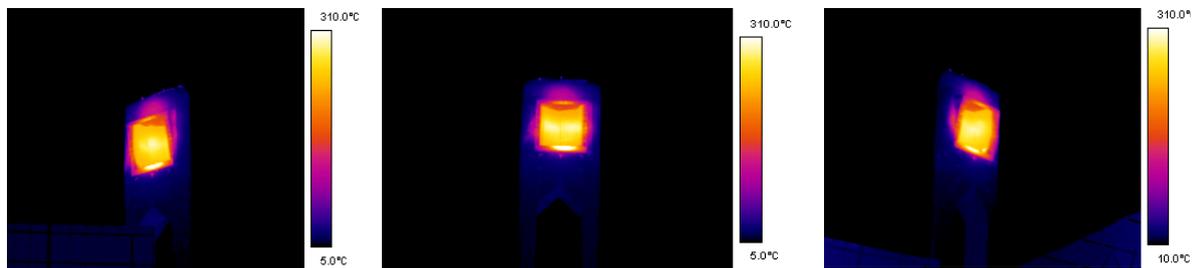


Figura 3.11 Medida Infrarroja, receptor PS10 durante fase de puesta en marcha desde tres puntos de observación en campo.

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.

Logros en 2007: Durante 2007 ha continuado su apoyo puntual en las diferentes consultas realizadas por el equipo de operación de la planta PS10.

Publicaciones: [3.6]

3.3.4 AVANSOL

Absorbedores volumétricos avanzados para tecnologías de alta concentración solar

Participantes: Solucar (Coordinador); 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: C. Montero (cristina.montero@solucarrd.abengoa.com); Félix M. Téllez (felix.tellez@ciemat.es)

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

Duración: 30 octubre 2005 - 30 octubre 2007 (extendido hasta JUNIO de 2008)

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

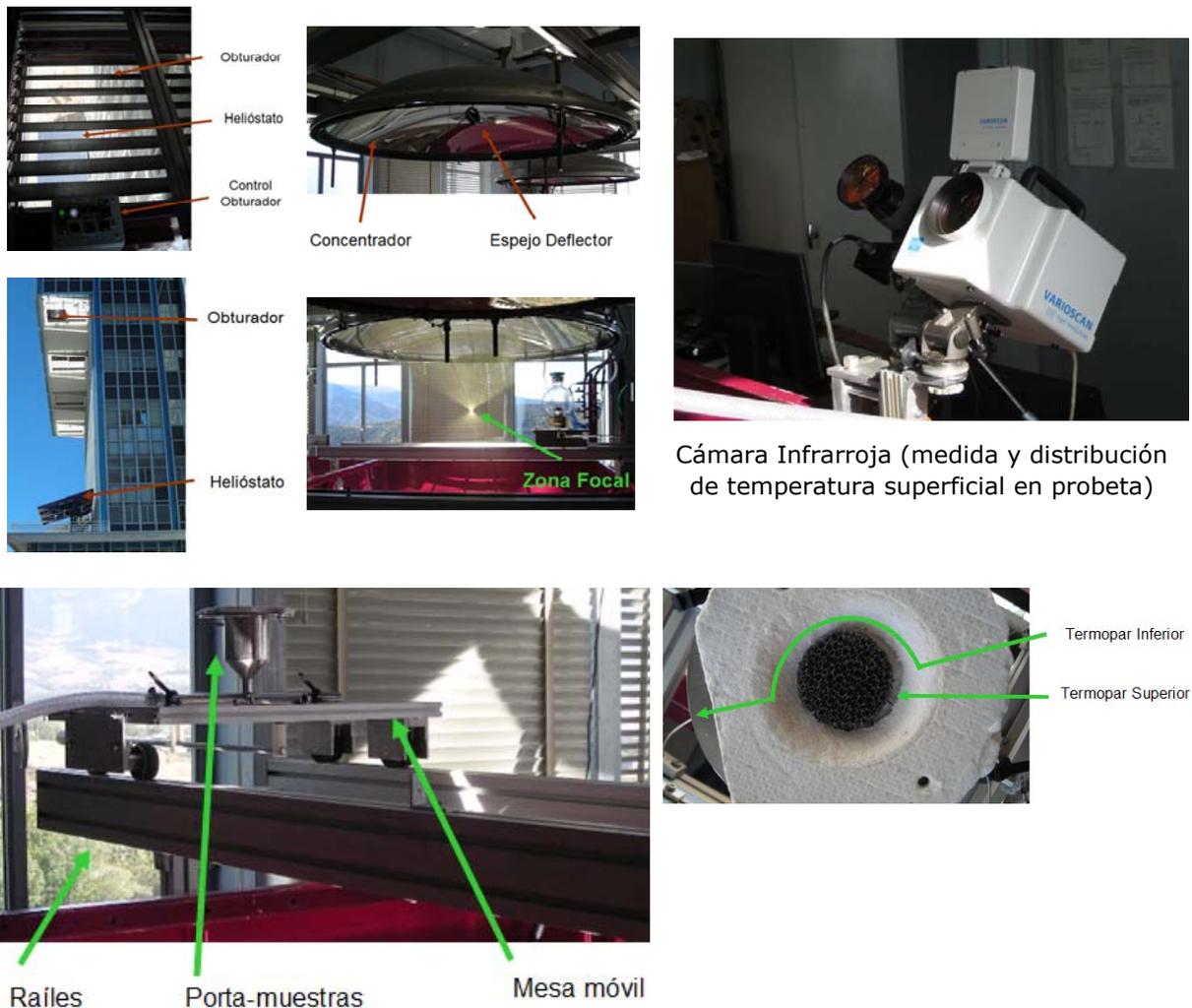


Figura 3.12 Disposición experimental de probetas AVANSOL en horno solar del CNRS-Odeillo-Francia

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: i) Durabilidad del absorbedor volumétrico en condiciones reales de operación y ii) 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).

Logros en 2007: En 2007 se realizaron una diversidad de muestras de estructuras porosas cerámicas tanto en la Universidad de Sevilla como en la empresa INASMET, para probar la adaptabilidad de diversos métodos de fabricación de estructuras porosas a los requerimientos de porosidad gradual de los receptores volumétricos. Una buena parte de estas probetas fue posible ensayarlas frente a choque térmico y ciclado con muy altos flujos solares gracias a la aceptación de la propuesta de ensayos en el horno del CNRS francés en Odeillo.

Por otro lado se ha finalizado la instalación y caracterización de las nuevas capacidades experimentales en Ciemat parcialmente financiadas por este proyecto: 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

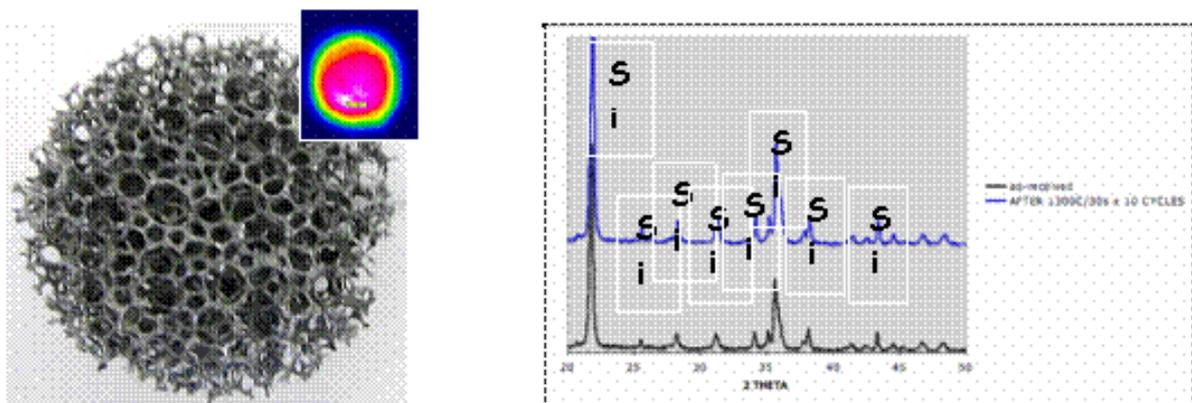


Figura 3.13 Análisis de degradación de estructuras porosas de alúmina con recubrimiento de SiC al alcanzar 1300°C y tras un ciclado con flujos de 3000 kW/m²



Figura 3.14 Posicionamiento de la muestra metálica en la zona focal.

punto de sistema de análisis termogravimétrico o termobalanza.

Publicaciones: [3.7] - [3.9]

3.3.5 Proyecto SolHyCo (SOLAR HYBRID power and COgeneration plants)

Participantes: DLR (D, coordinador), Turbec (I), Ciemat (E), CEA (F), Ormat (IL), Abengoa (E), FTF (D), Sonatrach (ALG), GEA (POL), Vitalux (BRA), e IIE (MEX)

Contacto: P. Heller (peter.heller@dlr.de); T. Denk (thorsten.denk@psa.es)

Presupuesto: CE VI-PM (nº Contrato 019830)

Duración: 1 enero 2006 - 30 junio 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 biocarburantes.

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

En la Plataforma Solar, se van a hacer las pruebas solares en dos etapas en la torre CESA-1. La primera será en el año 2008 en el nivel de 60 m con la turbina de la empresa israelí Ormat de una potencia eléctrica de 250 kW (Figura 3.15), 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 es la sustitución del queroseno por un carburante diesel de 100% origen biológico ("Biodiesel").



Figura 3.15 Turbina "Ormat" en el nivel de 60 m en la torre CESA-1

La segunda etapa será en el mismo lugar en el año 2009 con una turbina de la empresa italiana/sueca Turbéc 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 multi-capas). 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.

Logros en 2007: En el año 2007 se hicieron los trabajos de preparación de la turbina y los receptores para los ensayos solares. Causado por el largo tiempo sin operación, se encontraron numerosos defectos en el sistema que retrasaron mucho la puesta en marcha. Después de la revisión y modificación para uso con biodiesel del Metering Valve por el fabricante, se logró la primera puesta en marcha de la turbina. Con la turbina funcionando se hicieron varias medidas de vibración para diagnosticar posibles desequilibrios. Los resultados estaban dentro de las tolerancias.

Luego se podía revisar el sistema de los receptores. Ambas ventanas de cuarzo se desmontaron para una profunda limpieza del cristal, se repararon unos pocos espejos y el sistema de refrigeración de agua de los concentradores secundarios, que estaba bastante dañado, se mejoró con un sistema automático de relleno del circuito de agua, que sustituye las cantidades perdidas.

Como última tarea, se instaló un tanque adicional para el arranque que va con queroseno. En principio no hay problemas fundamentales para un arranque con biodiesel, pero eso requeriría a un lado una revisión a fondo del sistema de control de la turbina y al otro lado una modificación de varios componentes del sistema de alimentación de carburante para resistir un tiempo muy prolongado (hasta un año) al ambiente más agresivo del biodiesel. El nuevo sistema (Figura 3.16) incluye una segunda línea, que va desde un nuevo pequeño tanque (40 litros, aproximadamente 10 metros encima de la turbina) a la sala de receptores, donde a través de una válvula de tres vías de control remoto se puede elegir entre los dos carburantes. La estrategia es arrancar con queroseno, esperar el acople con la red eléctrica, y luego cambiar lo antes posible al biodiesel y empezar el ensayo solar. Al apagar la turbi-



Figura 3.16 Nuevas instalaciones para operación con biodiesel

na, el procedimiento va al revés, pero con la necesidad adicional de dejar el sistema aproximadamente 15 minutos con queroseno para asegurar que el volumen entre la válvula de tres vías y la cámara de combustión se haya llenada del todo con el queroseno. Ese procedimiento consume aproximadamente 25 litros de queroseno. Aparte, se instalaron dos válvulas también con control remoto para darle al operador la posibilidad de cortar el flujo de carburantes en un caso de emergencia. Antes había sólo dos válvulas manuales para este caso.

Los ensayos solares empezaron por fin en marzo de 2008, y está prevista su terminación a finales de septiembre. Los objetivos principales son la calibración de la medida del caudal de masa del aire con dos nuevos sistemas de medida y la acumulación de aprox. 100 horas de ensayo solar para conseguir más información sobre la durabilidad de largo tiempo de los componentes del sistema.

Publicaciones: [3.10]

3.3.6 MEPSOCON

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

Participantes: CIEMAT

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

Presupuesto: Plan Nacional 2002 de I+D Programa de Producción Industrial. MCYT (referencia DPI2003-03788)

Duración: diciembre 2003 - 2010

Antecedentes: El Laboratorio de Radiometría de la Plataforma Solar de Almería (PSA) surge ante la necesidad de verificar medidas de magnitudes radiométricas de gran importancia asociadas a la concentración solar. Estas magnitudes son la irradiancia solar ("flujo" en el argot de concentración solar) y temperatura superficial de materiales (detección por IR).

En la 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.

Durante la ejecución del proyecto MEPSOCON (MEdida de Potencia SOLar CONcentrada en plantas eléctricas de receptor central, Referencia DPI2003-03788) se definió y puso en marcha un procedimiento para el calibrado de radiómetros de alta irradiancia solar. Hasta esa fecha no había procedimientos establecidos para el calibrado de estos sensores. Se detectó y corrigió asimismo un error sistemático que se venía cometiendo en la medida de altas irradiancias solares. La calibración de radiómetros de alta irradiancia solar es una practica habitual en este laboratorio de radiometría; en este sentido da servicio a empresas e instituciones nacionales e internacionales: Solucar, CENIM, DLR, CIEMAT.



Figura 3.17 Laboratorio de Radiometría.

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

Logros en 2007: 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



Figura 3.18 Calibración de detector IR en laboratorio.

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 para calibración de sensores IR para medida de temperatura. 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 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. Próximamente se pretende cubrir el rango de baja temperatura (-20°C, 150°C) con un cuerpo negro de similares características.

Las líneas de investigación más prometedoras proponen la utilización de sensores de infrarrojos que trabajen en rangos espectrales de onda corta que contengan las bandas de absorción atmosférica por H₂O y CO₂ para de este modo mediante filtros pasa banda poder detectar la radiación de la superficie caliente a través incluso del cuarzo sin distorsión alguna por parte de la radiación solar reflejada (Figura 3.18). Durante este año se han conseguido grandes avances en este sentido.

Publicaciones: [3.11][3.12]

3.4 Grupo de Combustibles Solares y Solarización de Procesos Industriales

La producción de combustibles solares, fundamentalmente hidrógeno, así como la integración de las tecnologías de concentración solar en procesos industriales que requieren adaptar el proceso para integrar el aporte solar en aquellas etapas más endotérmicas, son los principales objetivos de investigación del 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 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 un proyecto Europeo (HYDROSOL-II), 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 de desarrollo tecnológico se ven complementados con la participación activa en aquellos foros y asociaciones de mayor impacto como es el caso de la iniciativa Sushypro en colaboración con centros de I+D en Francia, Alemania e Italia, y otra de carácter internacional denominada THESIS y amparada por el Partenariado Internacional de la Economía del Hidrógeno (IPHE). Además, CIEMAT ha iniciado la tramitación para ingresar como miembro en el Grupo de Investigación de la Iniciativa Tecnológica Conjunta en Pilas de Combustible e Hidrógeno (JU-FCH) del VII Programa Marco. La aplicación de las tecnologías de concentración solar a procesos industriales o procesos térmicos de interés a alta temperatura es otro campo de enorme importancia, que en el caso de la PSA se canaliza a través del proyecto coordinado SOLARPRO cuyo objetivo es, en cooperación con universidades y centros de investigación españoles, 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.

3.4.1 Producción de hidrógeno

Al igual que sus homólogos Europeos, Norteamericanos y Japoneses, CIEMAT, como laboratorio nacional de investigación energética, está desarrollando un programa propio en 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 reactores operando a temperaturas superiores a los 1.000°C. Las líneas de actividad se concretan en dos campos de actuación (ver Figura 3.19):

- 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.

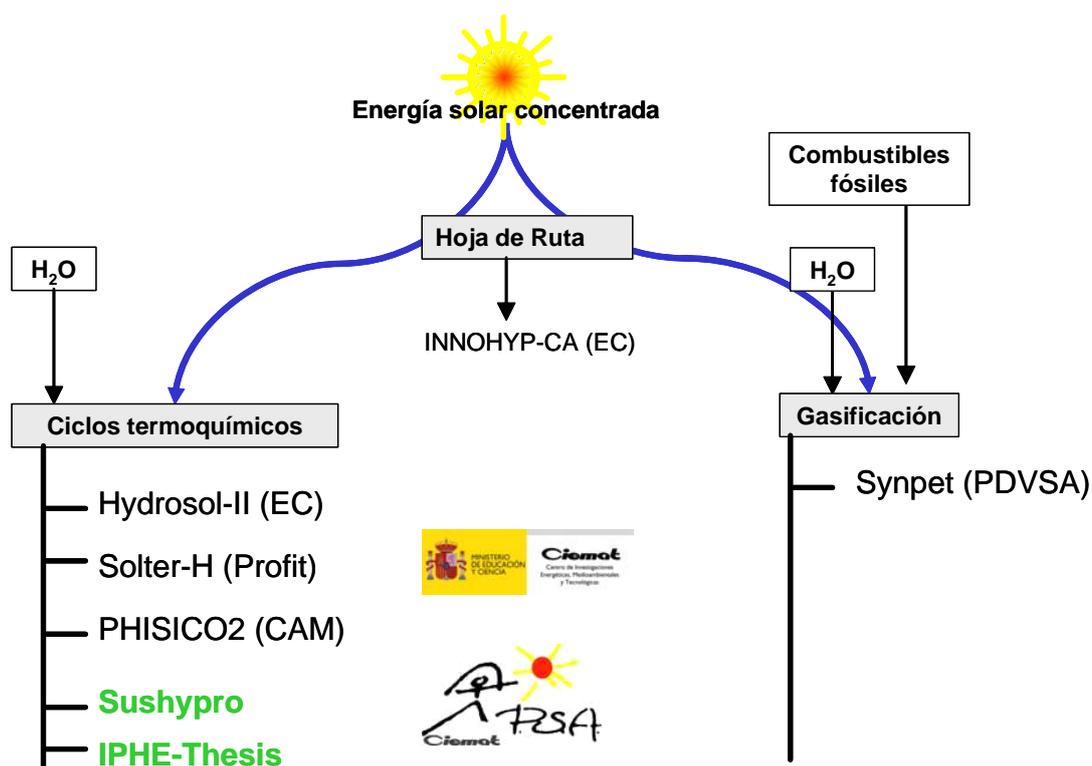


Figura 3.19 Líneas de actividad y proyectos en producción de hidrógeno por vía termoquímica en la PSA

3.4.2 Proyecto INNOHYP

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

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

Contacto: F. Le Naour, francois.le-naour@cea.fr
M. Romero (PSA), 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

Antecedentes: 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

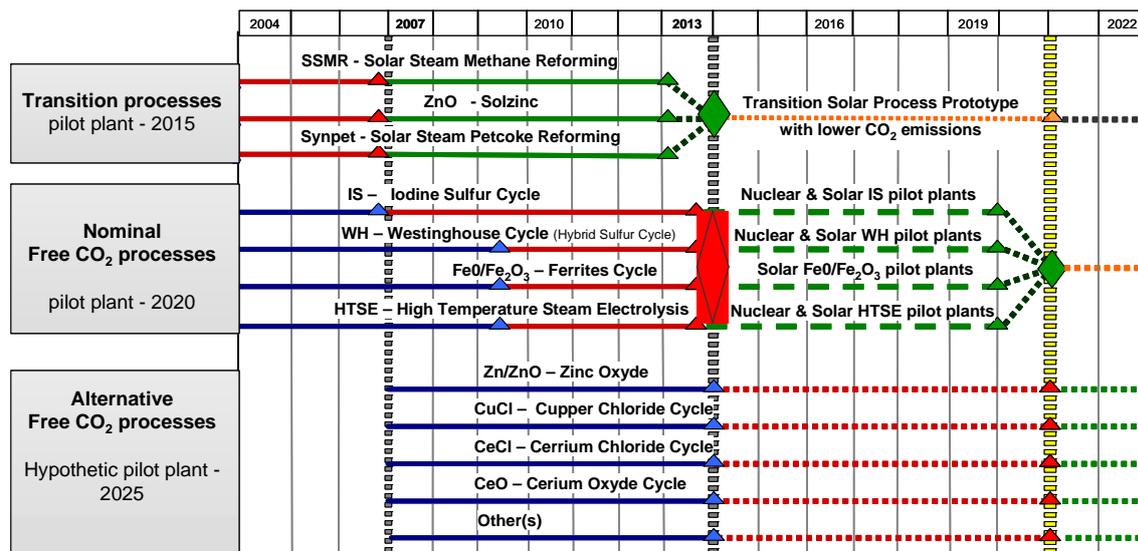


Figura 3.20 Principales procesos de producción térmica de hidrógeno a alta temperatura retenidos para su desarrollo de cara a una futura economía del hidrógeno (Fuente: INNOHYP).

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 [3.29].

Resultados alcanzados en 2007: El proyecto inició su andadura en septiembre de 2004 y se presentó el informe final a la Comisión Europea en el año 2007. Un resumen de sus resultados fue presentado en un Seminario de difusión que tuvo lugar en Bruselas el 29 de noviembre de 2006. La recopilación del estado del arte ofrece una selección de procesos prometedores, agrupados en tres categorías (ver Figura 3.20). 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: [3.29]

3.4.3 SYNPET

Proyecto de gasificación solar de coque de petróleo

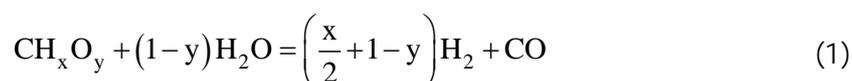
Participantes: El proyecto de gasificación solar de coque de petróleo es una colaboración entre la empresa Petróleos de Venezuela (PDVSA), el Instituto Tecnológico de Zurich (ETH) y CIEMAT.

Contacto: J.C. de Jesús, dejesusjc@pdvsa.com; Alfonso Vidal(PSA), alfonso.vidal@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 2008

Antecedentes: 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 procesado 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 2007: Durante el año 2007 el proyecto SYNPET ha culminado la etapa de diseño y construcción de los componentes principales de la instalación de 500 kW, estando previsto el montaje y puesta en marcha durante el año 2008 en la torre CRS de la PSA. El proyecto de implantación de equipos ha sido desarrollado por la empresa SENER, y ha tenido en cuenta tanto los aspectos técnicos de la instalación, como los aspectos de seguridad asociados a una instalación de producción de gas de síntesis operando a alta temperatura. El tamaño de la planta ha requerido disponer de información relativa a la normativa aplicable en materia de seguridad (R.D. 681/03 [Directiva ATEX]) como paso previo a una clasificación de áreas actualizada. Tal y como se aprecia en la Figura 3.21, la instalación hace uso de los niveles 41 y 31.66 de la torre CRS. En el nivel 41 se disponen el reactor, el sistema de alimentación de coque (slurry) y suspendido el intercambiador de calor que enfría el gas de salida del reactor antes de su envío a la antorcha. En el nivel 31.66 se ubican el separador y el generador eléctrico de vapor necesario para el proceso de gasificación. A finales de 2007 la mayor parte de los componentes principales estaban suministrados o en fase de fabricación (reactor, ventana del reactor, estructura soporte, generador de vapor, sistema y bombas de alimentación y antorcha), quedando pendientes para su ejecución en la

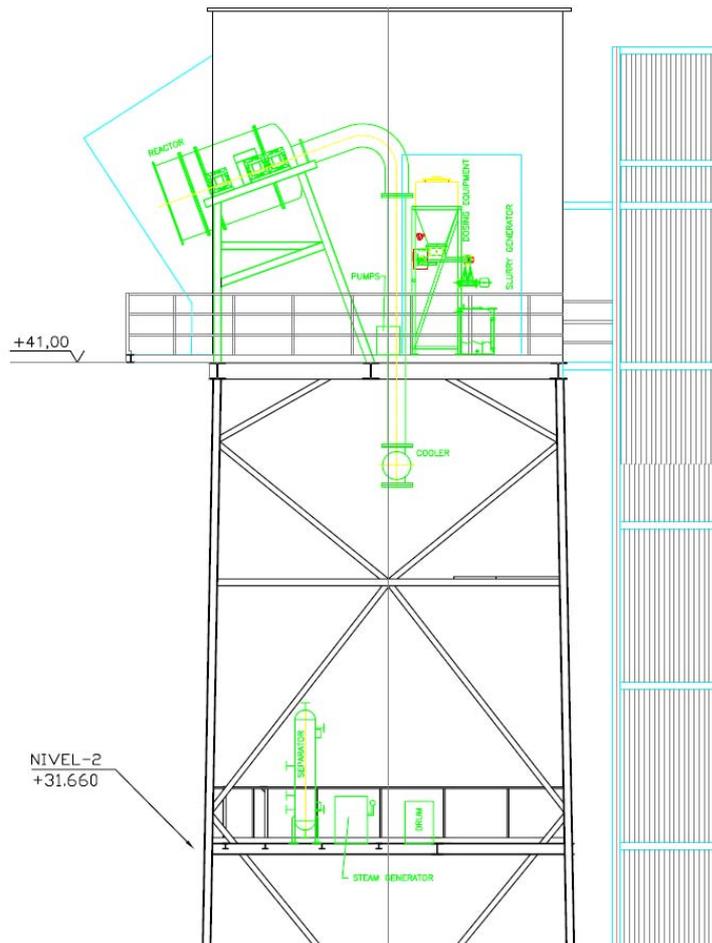


Figura 3.21 Implantación de la instalación SYNPET-500 en la torre CRS de la PSA.

primera mitad de 2008 el suministro de el intercambiador de calor y el sistema de control.

El ejercicio de escalado de la instalación desde el pequeño reactor de 5 kW ensayado en Zürich con coque de petróleo [3.4] y productos carbonosos residuales [3.15], ha supuesto una completa revisión del concepto de alimentación, la disposición del sistema de aislamiento térmico interno del reactor, el diseño de la ventana de cuarzo y también el rechazo de calor en los gases de salida. La instalación SYNPET-500 adopta por tanto soluciones constructivas y de ingeniería más próximas a una planta de producción real, adaptada a la energía solar como fuente energética principal. El proceso propuesto en SYNPET ha obtenido la aprobación de patente en EEUU con fecha 13 de febrero de 2007 [3.16]. Asimismo en mayo de 2007 se ha obtenido la publicación de solicitud de patente del reactor solar, previa a aprobación de patente [3.17], la cual ha sido ya también favorablemente comunicada, estando en fase de formalización.

Los resultados a escala piloto realizados durante el año 2006 han sido determinantes para la selección de la tipología de reactor para llevar a cabo este tipo de proceso. En este sentido, los resultados demuestran que la utilización de receptores de absorción directa permite conseguir obtener un gas exento de CO₂ a temperaturas mas bajas. Para explicar este comportamiento, se postula que la irradiación directa de los reactantes suministra una eficaz ma-



Figura 3.22 Despiece del receptor solar SYNPET con aislamiento cerámico

nera de transferir el calor directamente al sitio de reacción, mejorando las cinéticas y eliminando las limitaciones de un proceso de transferencia de calor.

El receptor de absorción directa se ha fabricado durante este año siguiendo el diseño suministrado por el ETH. Este reactor se ha concebido en varios segmentos para permitir un fácil montaje en la torre CRS (Fig. 2). El reactor está fabricado en acero refractario S30815 (ASTM) / 1.4835 (EN) lo que permite operar a altas temperaturas, aunque también se ha dispuesto un recubrimiento cerámico (89 to 95 % Al_2O_3) que permite aumentar la vida útil del material.

Publicaciones: [3.14] - [3.17]

3.4.4 Proyecto SolterH

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

Participantes: Hynergreen y CIEMAT.

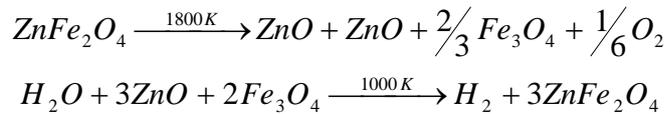
Contacto: V. Gallardo, victoria.gallardo@hynergreen.abengoa.com
A. Vidal, [PSA, Alfonso.vidal@ciemat.es](mailto:Alfonso.vidal@ciemat.es)

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

Antecedentes: 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 H_2 limpio a partir de energía solar. Los ciclos termoquímicos plantean la gran ventaja de permitir realizar la disociación de la molécula de agua en varias etapas, generándose H_2/O_2 en diferentes etapas, favoreciéndose por lo tanto su separación y evitando la recombinación al mismo tiempo que se reducen la temperatura de operación a valores más aceptables y obtenibles con los actuales diseños de sistemas de concentración solar utili-

zados en producción de electricidad. Con los ciclos termoquímicos basados en ferritas se logra rebajar sensiblemente la temperatura de proceso, a modo de ejemplo el proceso con ferritas de zinc sería el siguiente:



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 2000 K.

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 avidéz 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. 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. Durante el año 2006 se realizó la segunda fase del proyecto en la que se procedió a validar los resultados en una instalación de laboratorio y con materiales sintetizados por el Instituto de Catálisis y Petrolquímica del CSIC.

Resultados alcanzados en 2007: Se ha continuado con la actividad de preparación y caracterización de materiales alternativos (ferritas mixtas sintetizadas), de manera que los trabajos de investigación se han complementado con los desarrollados dentro del proyecto PHISICO2 que se resume a continuación. Las ferritas mixtas han sido caracterizadas a partir de su tamaño, forma, medida de superficie específica, composición elemental, comportamiento térmico, etc. Dentro del estudio encaminado a la preparación de materiales, se han empleado dos tipos de materiales: ferritas de manganeso dopadas y ferritas comerciales. Los difractogramas de rayos X de las muestras tras las etapas de activación y de hidrólisis indican que, la muestra dopada con Ni, formada únicamente por la fase espinela, mantiene esta estructura durante las dos etapas del proceso. Este material se seleccionó por tanto como candidato para posteriores experimentos de ciclabilidad.

En la Tabla 3.1 se muestran los resultados de los dos primeros ciclos con la ferrita Ni_{0.25}Mn_{0.75}Fe₂O₄. Estas producciones de oxígeno e hidrógeno llevarían a la larga a la completa desactivación del ciclo, por lo que es preciso aumen-

tar la eficiencia de la etapa de hidrólisis para obtener un proceso ciclable a largo plazo, bien sea mediante la modificación del material de partida, bien mediante la variación de las condiciones de reacción.

Tabla 3.1 Resultados de los dos primeros ciclos con la muestra 0.25Ni.

Ciclo n°	O ₂ (mmol ferrita) / g	H ₂ (mmol ferrita) / g	Rend. hidrólisis (%) ^a
1	0.46	0.06	7
2	0.22	0.04	9

$$^a \text{ rendimiento} = (\text{mol H}_2) / (2 \text{ mol O}_2)$$

Se han adquirido además muestras de ferritas existentes en el mercado para su evaluación como candidatos para su empleo en ciclos termoquímicos con vistas al escalado a reactor solar, así como para la comparación de su actividad con la de las muestras obtenidas en el laboratorio. Se adquirieron del fabricante Sigma-Aldrich ferritas de Ni, Cu, Zn, Ni-Zn y Cu-Zn. Las muestras han sido ensayadas en cooperación con el proyecto PHISICO2.

Finalmente, durante este año se ha puesto a punto la instalación de producción de hidrógeno en la Plataforma Solar, contando para ello con los equipos ya existentes relativos a la estructura de la instalación, valvulería, equipos de medida y control, etc.).

3.4.5 Proyecto PHISICO2

Producción Limpia de Hidrógeno: Alternativas sin emisiones de CO₂.

Participantes: Universidad Rey Juan Carlos, CSIC, INTA, REPSOL, HYNERGREEN y CIEMAT.

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

Contacto PSA: Fernando Fresno; fernando.fresno@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: fotoelectro-

lisis 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 2007:

Durante el año 2007, el estudio de ciclos termoquímicos para la obtención de hidrógeno a partir de agua mediante energía solar se ha centrado en el ciclo que emplea óxidos mixtos de hierro (ferritas). Dentro de este estudio se han empleado tres tipos de materiales: ferritas de manganeso dopadas, ferritas de Zn y ferritas comerciales.

- a) Ferritas de manganeso: Se han preparado ferritas de Mn dopadas con un 25 % atómico de diferentes metales: Co, Ni y Cu, además de la ferrita de Mn, MnFe₂O₄. La preparación se ha efectuado mediante un proceso basado en el método de Pechini, consistente en la formación de quelatos metálicos con ácido cítrico y la posterior poliesterificación de estos quelatos con etilenglicol para formar una resina, cuya posterior calcinación da lugar a los óxidos finales. Los materiales obtenidos se analizaron mediante ICP-AES, lo que indicó una composición final esencialmente coincidente con la teórica. La caracterización estructural se realizó mediante difracción de rayos X (DRX). Los resultados de DRX indican que la única muestra en la que aparece únicamente la ferrita con estructura espinela es la dopada con Ni, mientras que en el caso de la ferrita de manganeso aparecen también las fases Fe₂O₃ y Mn₂O₃ y en las dopadas con Co y Cu aparece Fe₂O₃ además de la ferrita. Teniendo en cuenta este resultado, se ensayó un método de síntesis diferente para obtener fases puras en los casos en que el método Pechini daba una mezcla de fases. El método consistió en la calcinación en atmósfera inerte del precursor obtenido por precipitación de los sulfatos de los correspondientes metales. Como resultado preliminar, la síntesis de MnFe₂O₄ mediante este método dio lugar a la formación únicamente de la fase deseada.

Como prueba preliminar del comportamiento de los óxidos obtenidos, se realizaron análisis termogravimétricos (TGA) de los mismos en atmósfera inerte, simulando la etapa de activación del ciclo termoquímico. Las curvas de TGA muestran cómo todos los materiales pierden peso durante el tratamiento térmico a temperatura ambiente. Mediante un experimento

acoplado un cromatógrafo de gases a la salida de la termobalanza se comprobó que esta pérdida de peso corresponde a la evolución de oxígeno de la muestra. Se observa también que existen variaciones en la temperatura a la que los diferentes óxidos sufren esta pérdida de peso y en la magnitud de la misma, siendo la ferrita de manganeso sin dopar la que presenta una mayor pérdida de peso, y por lo tanto una mayor capacidad a priori para la producción de H_2 . La introducción de dopantes en la ferrita de manganeso provoca menores pérdidas de peso y menores temperaturas de activación, lo que, por una parte, daría lugar a una menor producción de hidrógeno, pero, por otra, rebajaría la demanda energética del sistema.

Una vez caracterizados los materiales, se llevaron a cabo ensayos a escala de laboratorio de producción de hidrógeno mediante el ciclo termoquímico indicado anteriormente. Los ensayos se realizaron en un reactor de lecho fijo alimentado con argón como gas de arrastre, con la posibilidad de utilizar gas seco para la etapa de activación y gas saturado en vapor de agua para la etapa de hidrólisis. La detección y cuantificación de los gases de salida se realizó mediante cromatografía de gases. El montaje del banco de ensayos y su puesta a punto se llevaron a cabo también durante la anualidad 2007. Por lo que respecta a los resultados obtenidos, se observó, durante la etapa de activación, una cantidad de oxígeno liberado concordante con las pérdidas de peso observadas en los análisis termogravimétricos. En la etapa de hidrólisis, sin embargo, no se observó en mismo orden de producción de hidrógeno que cabía esperar a partir de los resultados de la activación, siendo la ferrita de manganeso dopada con níquel la que dio lugar a una mayor producción de hidrógeno, con un 7% de rendimiento en el primer ciclo con respecto a la estequiometría de la disociación de la molécula de agua. Este material se seleccionó por tanto como candidato para posteriores experimentos de ciclabilidad y de influencia de los diferentes parámetros de la reacción. Con vistas a aumentar el rendimiento anteriormente indicado, se realizaron experimentos con la ferrita dopada con níquel utilizando un menor caudal de argón en la alimentación del sistema. Estos experimentos dieron como resultado una mayor grado de hidrólisis del material activado con menores caudales hasta un 16% con un caudal de $25 \text{ cm}^3/\text{min}$, lo que indica que el proceso está limitado por difusión.

- b) Ferritas de zinc: se ha ensayado la etapa de activación de dos ferritas de zinc suministradas por el grupo ICP-CSIC, obtenidas por co-precipitación directa y calcinadas a 700 y 850°C respectivamente. En ambos casos se observó la formación de una capa metálica a la salida del reactor, cuyo posterior análisis por DRX confirmó que se trata de zinc metálico. Esto indica la descomposición parcial de la ferrita. El interés de este sistema consiste en que se obtiene esta descomposición a temperatura inferior a la comunicada en la literatura, así como en la posibilidad de limitar esta descomposición a la formación de especies no volátiles, lo que eliminaría la necesidad de una etapa de quenching, con el consiguiente ahorro energético.
- c) Ferritas comerciales: se han adquirido muestras de ferritas existentes en el mercado para su evaluación como candidatos para su empleo en ciclos termoquímicos con vistas al escalado a reactor solar. Estas muestras presentan diferentes composiciones: $NiFe_2O_4$, $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$, $CuFe_2O_4$, $Cu_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ y $ZnFe_2O_4$. Se ha comprobado mediante difracción de rayos X que todas presentan la estructura espinela. Se han realizado has-

ta el momento ensayos de ciclos termoquímicos con las ferritas NiFe_2O_4 y CuFe_2O_4 . En el caso de la segunda de ellas, se observó una alta producción de oxígeno en la etapa de activación que, sin embargo, no se corresponde con la formación de hidrógeno en la hidrólisis, probablemente debido a la desaparición de la fase espinela y la formación de fases cuya reacción con agua no está favorecida termodinámicamente. La muestra de NiFe_2O_4 , por otra parte, sí dio lugar a la formación de hidrógeno en la segunda etapa del ciclo, con un rendimiento mayor que el obtenido con los sistemas citados anteriormente (26% con $25 \text{ cm}^3/\text{min}$ de Ar).

Un hito importante durante el año 2007 lo ha constituido el diseño y construcción de un disco solar de foco fijo, totalmente novedoso y especialmente apropiado para la realización de ensayos químicos a alta temperatura, y que será utilizado en 2008 para realizar ensayos de producción de hidrógeno a partir de ferritas. El Sistema de Concentración consta de un conjunto de anillos reflectores concéntricos, sobre un único plano, que focalizan la radiación solar gracias a una doble reflexión de la misma. Cada uno de estos anillos está formado por dos superficies tronco-cónicas unidas en forma de V. Cuando el colector está orientado al Sol, la radiación incidente es reflejada por una de las superficies troncocónicas enfrentadas al Sol hacia la superficie troncocónica del siguiente anillo más externo que la vuelve a reflejar, redireccionándola hacia el foco. Como la reflexión es sobre superficies regladas, la concentración no es puntual, sino que son múltiples concentraciones lineales, delimitadas en una pequeña área. Este diseño de doble reflexión minimiza las pérdidas por interceptación entre planos contiguos, típicas de cualquier concentrador por reflexión escalonado. El dispositivo de concentración construido tiene una superficie reflectante de 7 m^2 y permite alcanzar una concentración solar de 2.500X.

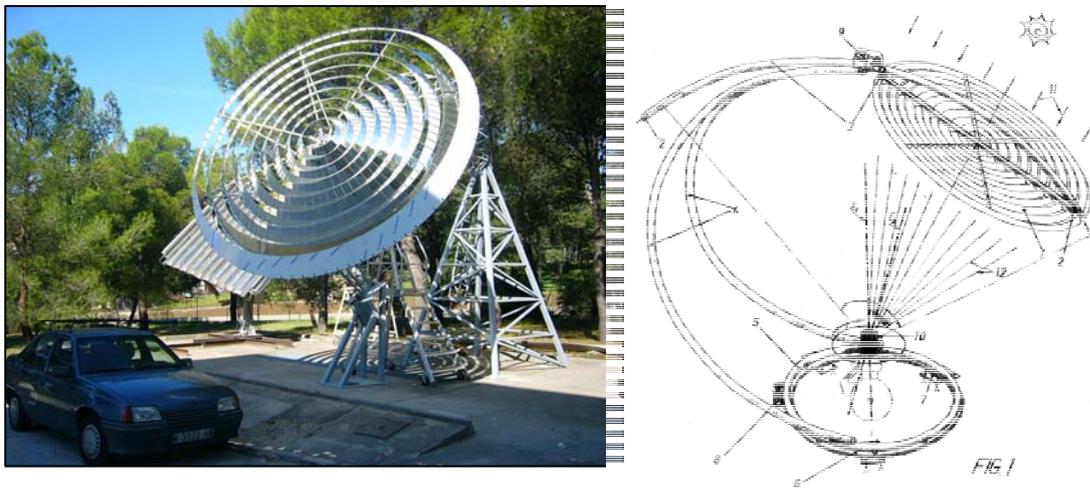


Figura 3.23 Disco solar de foco fijo Dobrex2500 de 7 m^2 y sistema de doble reflexión, desarrollado dentro del proyecto PHISICO2 para el ensayo de producción de hidrógeno con ferritas mixtas.

Se ha avanzado también en este proyecto en la definición de la configuración más apropiada para el reactor solar. Los ensayos de cualificación de ambas reacciones (activación e hidrólisis), ha permitido establecer unos tiempos de residencia en el reactor elevados. Por esta razón se ha considerado como la opción más versátil en término de tiempos de contacto, la basada en el uso de un reactor trabajando en modo batch, con geometría de cavidad y ventana

de cuarzo. El reactor es rotatorio para permitir una buena distribución de las partículas de ferrita en las paredes de la cavidad.

Publicaciones: [3.18] - [3.21]

3.4.6 Proyecto Hydrosol-II

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

Participantes: APTL (Grecia), DLR (Alemania), CIEMAT (España), STC (Dinamarca), Johnson Matthey (RU).

Contacto: C. Agrafiotis, chrisagr@cperi.certh.gr
A. López (PSA), antonio.lopez@psa.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 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 [3.22]. 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.

Resultados alcanzados en 2007: Durante el año 2007 el trabajo en la PSA se ha centrado en el montaje y puesta en marcha de la instalación HYDROSOL-II de 100 kW en la cota de 25 m de la torre CRS de la PSA. La instalación incorpora un cerramiento para el sistema y una estructura soporte para el banco de ensayos, así como las correspondientes acometidas, cableados, gases auxiliares y generador de vapor. El banco de ensayos incluye un sistema dual con dos reactores tal y como se representa en la Figura 3.24. 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



Figura 3.24 Vista lateral de la instalación Hydrosol-II ubicada en la torre CRS de la PSA.

calentamiento (500 kW/m^2) y el otro en disociación (110 kW/m^2). Se ha podido determinar que una separación de 1,3 m es suficiente para mantener independizado el funcionamiento de los dos reactores [3.23].

La preparación de la instalación Hydrosol-II ha venido precedida por un intenso trabajo de todo el consorcio con el fin de desarrollar la solución más apropiada para el material y la matriz de nido de abeja a utilizar, así como el desarrollo de un reactor apropiado y un sistema de control propio. Durante el año 2007 se han probado en Almería bloques cerámicos de soporte de ReSiC de 90 cpsi (celdas por pulgada cuadrada) con unas dimensiones de $147 \times 147 \times 60$, fabricados por la empresa Danesa STC. Posteriormente se han instalado los bloques de SiSiC de 90 cpsi ya impregnados con ferritas mixtas por Johnson Matthey. La impregnación fue realizada a partir de 10 kg de material redox $(\text{Zn,Fe})\text{O}$ sintetizado por el método SHS en Grecia por APTL y después molido a un diámetro característico de $d_{90} < 10 \mu\text{m}$, para asegurar una adhesión firme al SiSiC. A finales de 2007 se trabajaba intensamente con el objetivo de disponer de los absorbedores y el reactor solar definitivo a comienzos de 2008, estando prevista la inauguración oficial de la instalación en marzo de 2008.

Publicación: [3.22][3.23]

3.4.7 Proyecto SolarPRO II

Desarrollo de prototipos preindustriales para la generación de calor de proceso solar de alta temperatura: Ensayo y caracterización de su aplicación a procesos productivos y de eliminación de residuos

Participantes: CIEMAT, Universidad de Sevilla, Instituto de Tecnología Cerámica, Universidad Politécnica de Cataluña, Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas -CSIC

Contacto: D. Martínez, diego.martinez@psa.es;
I. Cañadas, i.canadas@psa.es

Presupuesto: Proyecto financiado por el MCYT, dentro del marco del Plan Nacional de I+D+I (2004-2007). Presupuesto total: 35,04 k€. Presupuesto CIEMAT: 7,26 k€.

Duración: 1 de octubre de 2006 – 30 de septiembre de 2007

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.

siendo los procesos inicialmente seleccionados los siguientes:

Tabla 3.2 Procesos inicialmente seleccionados

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
Tratamiento de materiales		
Tratamientos de temple, revenido y envejecimiento de materiales férreos y no férreos	T < 900°C	Horno de lecho fluidizado solar

Resultados alcanzados en 2007: En SolarPRO I se diseñaron, desarrollaron y construyeron paralelamente tres reactores diferentes, innovadores, basados en distintas tecnologías, además de distintos prototipos y dispositivos de ensayos para aplicaciones específicas. Paralelamente se desarrollaron sus propios programas de adquisición de datos y de control, se ampliaron y mejoraron instalaciones, poniéndose en operación y caracterizándose los diferentes reactores, y realizándose diferentes campañas para cada uno de los diferentes procesos estudiados en 'SolarPRO'.

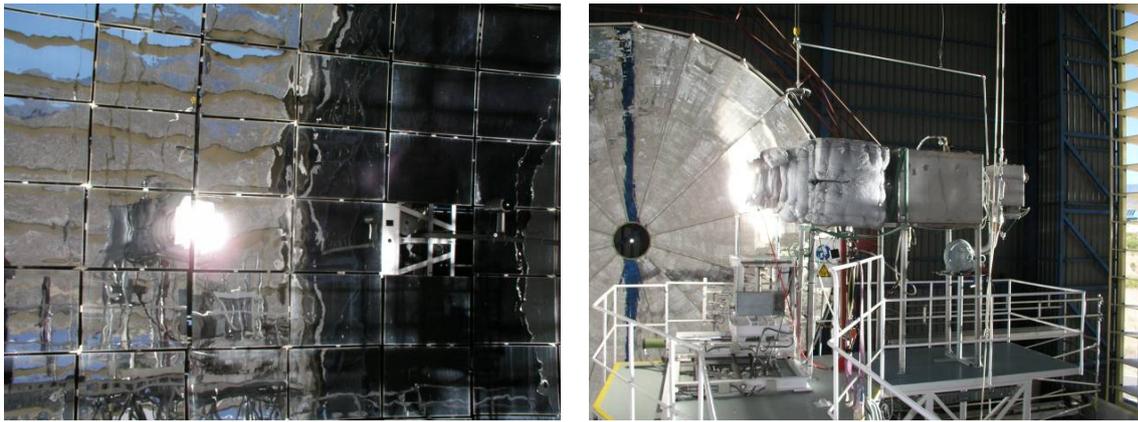


Figura 3.25 Planta de proceso en operación en el Horno Solar de PSA

Durante 2007, y ya dentro de SolarPRO II, estos reactores han sido mejorados con éxito, acercándose más a los objetivos preindustriales del proyecto.

Así, el estado actual de la tecnología para los diferentes procesos estudiados en SolarPRO 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. Con objeto de mejorar el prototipo actual de planta de proceso solar, durante 2007 se han realizado diferentes modificaciones y mejoras del prototipo inicial, y una vez realizadas se ha procedido a realizar una nueva caracterización del mismo, comprobando que permite generar calor de proceso a temperaturas superiores a los 1100°C. Una vez caracterizado, se ha procedido a realizar diferentes campañas de secado y cocción de baldosas cerámicas, así como de ensayos de tercer fuego.

Los principales hitos conseguidos fueron:

- Alcanzar en continuo la generación de calor de proceso en aire hasta temperaturas superiores a los 1100°C.
- Demostrar la viabilidad del proceso de secado cerámico.
- Demostrar la viabilidad del proceso de cocción de baja temperatura (850°C) y media temperatura ($T > 1050^\circ\text{C}$), así como la cocción de piezas de tercer fuego, cuya temperatura de cocción oscila entre 700 y 900°C.

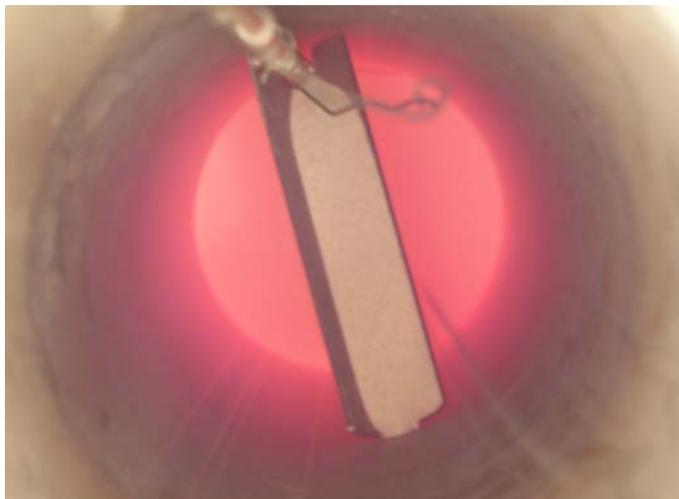


Figura 3.26 Interior de lecho fluidizado solar

Tratamiento de residuos: se ha realizado campañas para la desorción térmica de suelos contaminados en el reactor lecho fluidizado, que permite un tratamiento homogéneo de las muestras.

Procesos pulvimetalúrgicos: se ha sinterizado metales en un reactor de atmósfera controlada, obteniendo calor de proceso en aire y en diferentes gases a temperaturas superiores a los 800°C. Así, en SolarPRO II se ha realizado en colaboración con la Universidad de Sevilla una campaña de unos dos meses de duración de sinterizado de probetas metálicas, en la que se han tratado probetas de aluminio, y latón, de diferentes composiciones o métodos de preparación, y con resultados satisfactorios para el aluminio (650°C) y el latón (810°C).

Tratamiento de materiales: Un horno de lecho fluidizado calentado con energía solar ha sido utilizado ampliamente durante la duración de SolarPRO II, realizándose diferentes campañas de tratamiento de materiales y caracterización del reactor en febrero, julio y octubre de 2007, y se ha utilizado para el tratamiento térmico de aluminios, como de piezas de acero. Así, se ha solubilizado aluminio (550°C), y tratado diferentes tipo de acero, al carbono (C50) y de herramientas (95MnWcr%), han sido austenizados (850°C) y templados en agua y aceite para obtener martensita así mismo se han realizado tratamientos de revenido (650°C) y normalizado.

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.
- desarrollar tres prototipos de reactores diferentes e innovadores, basados en distintas tecnologías, que permiten la generación de calor de proceso solar de alta temperatura.
- En SolarPRO II se han mejorado los tres prototipos innovadores desarrollados en la fase previa del proyecto basados en diferentes tecnologías, con diferentes temperaturas y condiciones de trabajo, alimentados con energía solar concentrada. Las mejoras realizadas nos permite avanzar en el conocimiento de los reactores y la tecnología de manera que se puedan diseñar mejores prototipos futuros a escala preindustrial basados en los ya existentes.
- 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



Figura 3.27 Reactor lecho fluidizado en operación en el Horno Solar de PSA

la radiación solar concentrada para la fabricación de espumas de aluminio" (2005-2009)

Publicaciones: [3.24] - [3.28]

3.5 Referencias

- [3.1] Steinmann, W., R. Tamme. "Latent Heat Storage for Solar Steam Systems". Proceedings of the SolarPACES 2006 International Symposium, celebrado en Sevilla, del 20 al 23 de junio de 2006.
- [3.2] Solar Power and Chemical Energy Technologies, June 20-23th, Seville, Spain, FA1-P.1 Poster contribution
- [3.3] Fernández-García A., Zarza E., Pérez M. *Utilización de captadores solares cilindro-parabólicos para aplicaciones de climatización y refrigeración solar*. REHYER 2007. Congreso Ibérico de Refrigeración e Hidrógeno con Energías Renovables. 24-26 Septiembre 2007. Burgos.
- [3.4] Ortega, J.I., Burgaleta, J. I., Téllez, F. M. (CIEMAT) "Central Receiver System Solar Power Plant Using Molten Salt as Heat Transfer Fluid", Aceptado para publicación en *Journal of Solar Energy Engineering*, Mayo 2008
- [3.5] Fernandez-Reche, J.; Valverde, A.; Monterreal, R.; Tellez, F. "Potencia incidente en el receptor de sales: limitaciones y causas", doc. confidencial: panel_sales-in-cs-01, version 2.0, 30 de mayo de 2007
- [3.6] Tellez Sufrategui, F.M.; Avila Marin, A.L. "Influencia de los recubrimientos selectivos sobre la eficiencia termica de receptores solares", 57 p. doc. id: ussc-sc-cs & sof-01 : version 3.0, 30 de julio, 2007
- [3.7] Tellez, F.; Alvarez de Lara, M.; Gonzalez, M.; Hernandez, M.T.; Morales, A. "Informe progreso CIEMAT 2006-7 Proyecto AVANSOL " 24 p. doc id: AVANSOL - te-cs-01
- [3.8] Avila Marin, A; González, M; Téllez, F.M.; "Informe campaña de ensayos SOLRED-CNRS-AVANSOL", Dic. 2007.
- [3.9] Rojas-Morín A, Fernández-Reche J.; "Metodología de la realización del estudio teórico de trazado de rayos del concentrador solar DISTAL I",,, XIV Congreso Ibérico y IX Congreso Iberoamericano de Energía Solar, 17-18 de Junio de 2007

- [3.10] Heller, P., Pfänder, M., Denk, T., Tellez, F., Valverde A., Fernandez, J., Ring, A., "Test and evaluation of a solar powered gas turbine system", *Solar Energy* 80 (2006) 1225-1230
- [3.11] Estrada, c.a.; Perez-Rabago, C.; Ballestrin, J.; Rodriguez, M. "Experiments with cavical in the solar furnace of the PSA", International Solar Energy Society, 2007 ISES Solar World Congress 2007, Beijing, septiembre 18-21, 2007, P. 1838-1842
- [3.12] Ballestrin Bolea, J.M. "Proyecto de investigacion y desarrollo tecnologico: informe fina : Medida de potencia solar concentrada en plantas electricas de receptor central", 13 P. Ref.: DPI2003-03788
- [3.13] Pitz-Paal, R.; Dersch, J.; Milow, B.; Tellez, F.; Zarza, E. "Development steps for parabolic trough solar power technologies with maximum impact on cost reduction" *Journal of Solar Energy Engineering*, V. 129, P. 371-377, Nov. 2007
- [3.14] Graggen A.Z., P. Haueter, G. Maag, A. Vidal, M. Romero, A. Steinfeld (2007), "Hydrogen Production by Steam-Gasification of Petroleum Coke using Concentrated Solar Power. - III. Reactor experimentation with slurry feeding". *International Journal of Hydrogen Energy* 32 (2007) 992-996
- [3.15] Graggen A.Z., P. Haueter, G. Maag, M. Romero, A. Steinfeld (2007), "Hydrogen Production by Steam-Gasification of carbonaceous materials using Concentrated Solar Power. - IV. Reactor experimentation with vacuum residue". *International Journal of Hydrogen Energy* (in press). Electronic version: journal homepage: www.elsevier.com/locate/ijhydene
- [3.16] Rodríguez, D., Morales; A., Blanco; J., Romero, M., Steinfeld, A. (Brugg, CH). Process for converting heavy crude oils and petroleum coke to syngas using external source of radiation. US-Patent 7,176,246. February 13, 2007.
- [3.17] Haueter, P.; Z'Graggen, A.; Trommer, D.; Steinfeld, A.; Romero, M.; de Jesús, J. C.; Rodríguez, D.; Morales, A.; Blanco; J. Apparatus for gasification of carbonaceous solid materials. US-Patent Application 20070098602. May 3, 2007.
- [3.18] Fernández Saavedra, "Revisión Bibliográfica sobre la Producción de Hidrógeno Solar Mediante Ciclos Termoquímicos", Informes Técnicos CIEMAT, 1121, Octubre 2007, ISSN: 1135-9420.
- [3.19] Marcos, M.J., Hernández, T., Sánchez, M., Quejido, A.J., Romero, M., "Preparation of mixed iron oxides for solar hydrogen production by means of the Pechini technique", *Energy Sustainability* 2007, ASME, Long Beach, California, Junio 2007.
- [3.20] Sánchez, M., Fernández, M., Marcos, M.J., Hernández, T., Quejido, A.J., Romero, M., "Thermal Behaviour of Mn-Ni substituted ferrites for their application to solar hydrogen production", 2nd International Congress of Energy and Environment Engineering and Management", Badajoz, 6-8 Junio 2007.
- [3.21] Teresa Hernández, Miguel Sánchez, Ma Jesús Marcos, Ma Belén Gómez, Fernández, M., Quejido, A.J., Romero, M., "El papel de los metales de transición en espinelas de hierro y su aplicación a la generación de H₂ solar", *1er Congreso Ibérico de Refrigeración e Hidrógeno con Energías Renovables- REHYER 2007*, Burgos, Septiembre 2007. pp. 345-354. ISBN: 978-84-96394-83-4.
- [3.22] Agrafiotis C.C., Mavroidis I., Konstandopoulos A.G., Hoffschmidt B., Stobbe, P., Romero, M., Fernández-Quero, V. (2007) "Evaluation of porous silicon carbide monolithic honeycombs as volumetric receiver"

- ers/collectors of concentrated solar radiation". *Solar Energy Materials & Solar Cells* 91 (2007) 474–488.
- [3.23] López A., Urdiales D., Valverde A., Monterreal R., Yebra L., Romero M. (2007) "Producción de Hidrógeno Solar a partir de Ciclos Termoquímicos". 1er Congreso Ibérico de Refrigeración e Hidrógeno con Energías Renovables- REHYER 2007, Burgos, Septiembre 2007. pp. 369-376. ISBN: 978-84-96394-83-4.
- [3.24] Navarro, A., Mendoza, J.L., Cañadas, I., Desorción térmica solar de suelos mineros e industriales contaminados por mercurio. Libro de Resúmenes del Congreso Internacional de Energía y Recursos Minerales. XIII Congreso Internacional de Energía y Recursos Minerales. Oviedo, 7 - 11 octubre 2007.
- [3.25] Cambroner, L.E.G., Corpas, F.A., Cañadas, I., Martínez, D. Effect of Solar Furnace Heating Conditions on Characteristics of AlSi7 Foams with Carbonates as Foaming Agent. *MetFoam 2007 Proceedings. 5th International Conference on Porous Metals and Metallic Foams. Montreal, 5-7 Septiembre 2007.*
- [3.26] Cambroner, L.E.G., Ranninger, C., Cañadas, I., Martínez, D. Solar Energy-Based Joining of Aluminium Foam. *Congreso: MetFoam 2007 Proceedings. 5th International Conference on Porous Metals and Metallic Foams. Montreal, 5-7 Septiembre 2007.*
- [3.27] Garcia Cambroner, L E ; Ruiz-Roman, J P; Ruiz-Prieto, J M; Canadas, I; Martinez, D. Lubricant Elimination of Stainless Steel Green parts Using Solar Concentrated Energy. *Euro PM 2007 Conference Proceedings. Euro PM 2007. International Power Metallurgy Conference. Toulouse, 15 - 17 octubre 2007.*
- [3.28] Cañadas, I., Martínez, D., Rodríguez, J. Advances in Materials Treatment by Concentrated Solar Energy. *New Reactors and Devices. Euromat 2007. European Congress on Advanced Materials and Processes. Nuremberg, 10-13 Septiembre 2007.*
- [3.29] 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. Zaragoza, 22-25 November 2005. Pp.647.*

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 2007 ha supuesto una continuación y consolidación de las distintas actividades investigadoras que configuran la Unidad de "Aplicaciones Medioambientales de la Energía Solar y Caracterización de la Radiación Solar", y que son las siguientes:

- Procesos de Detoxificación y Desinfección Solar de Agua
- Procesos de Detoxificación Solar en aire
- Procesos de Desalinización Solar de Aguas de Mar y Salobres
- Caracterización y Medida de la Radiación Solar

Estas actividades definen, asimismo, los 4 grupos que le dan el contenido a la Unidad. Una buena prueba de la consolidación indicada en estas actividades la constituye el hecho de que, durante el año 2007, se han iniciado un total de 6 nuevos proyectos (2 europeos, 2 del plan Nacional de I+D+I del Ministerio, un proyecto PROFIT y un proyecto CENIT), todos ellos directamente relacionados con las actividades centrales de los grupos anteriormente indicados.

A nivel de personal, la composición de la Unidad, a 31 de diciembre de 2007, estaba formada por un total de 23 personas (mismo número que en el año anterior), siendo su desglose el siguiente: 6 investigadores funcionarios, 6 investigadores contratados, 8 becarios de doctorado (3 de ellos no españoles) y 3 técnicos de laboratorio. Los grupos de "Caracterización y Medida de la Radiación Solar" y "Procesos de Detoxificación Solar en Aire" tienen su núcleo de investigadores en las instalaciones del CIEMAT en Madrid, mientras que los otros dos se encuentran en la PSA. Desde el punto de vista presupuestario, los ingresos de la Unidad (definidos en el ejercicio de 2007) se han incrementado en más de un 30% con respecto al año anterior, alcanzando los 638.000€.

En el año 2007 se debe destacar también un notable incremento, en la línea de años anteriores, del interés de multitud de empresas y otros organismos de investigación hacia el desarrollo de procesos y tecnologías relacionadas con la energía solar en general y con las aplicaciones medioambientales en particular. Como demostración de este interés, durante 2007, ha sido creada la empresa IrSOLaV (Investigaciones y Recursos Solares Avanzados, S.L., <http://irsolav.com/>), como spin-off del grupo de "Caracterización y Medida de la Radiación Solar" ante la fuerte demanda de datos relacionados con la estimación y el análisis del recurso solar en potenciales emplazamientos así como la realización de trabajos de investigación, consultoría, promoción, asesoría y formación en actividades relacionadas.

Otro hecho destacado, que ha tenido también lugar en el 2007, ha sido creación de una nueva tarea de SolarPACES (Solar Power And Chemical Energy Systems) que, bajo la denominación formal de "Solar Energy & Water Processes and Applications", va a estar dedicada a concentrar, diseminar y promover las actividades de investigación y demostración relacionadas con la aplicación de la energía solar a procesos y tecnologías del agua. Esta nueva tarea (SolarPACES Task VI), se encuentra liderada por el responsable de la Unidad de Aplicaciones Medioambientales del CIEMAT (sobre la que recae la coordinación de la misma), y tendrá una duración inicial de 5 años siendo su comienzo oficial el 1 de enero de 2008.

Entre las actividades a desarrollar, además de las correspondientes a desalinización, detoxificación y desinfección de agua, se encuentra también la integración de procesos de desalinización de agua en plantas solares de potencia, actividad definida con el acrónimo: CSP+D. Dado el auge de construcción de plantas solares de potencia por todo el mundo y dado también que, allí donde hay elevados niveles de radiación solar que justifican la instalación de este tipo de plantas, el agua suele ser un recurso problemático, tiene todo el sentido plantear el uso de la energía solar no sólo para la producción de electricidad sino también para la provisión de agua. Dado su elevado interés y potencial de aplicación que esta actividad podría tener en un elevado número de países, no es descartable que acabase constituyendo en el futuro una nueva área de actividad de la unidad.

A continuación se describen las principales actividades desarrolladas durante 2007 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.

Durante 2007 se ha trabajado en 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 a Grandes Instalaciones Científicas 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, el proyecto TRAGUA pertenece al Programa Ingenio 2010 (CONSOLIDER), proyecto de excelencia del MEC. Detalles de cada uno de ellos se recogen en las siguientes páginas. Durante 2007 han realizado estancias en nuestro grupo un total de 12 investigadores de otros centros de investigación y universidades de España, Portugal, Argentina, Irlanda, Grecia, Sudáfrica.

Dentro de la importancia que en el grupo se le da a la valorización de los resultados de los proyectos a través de publicaciones en revistas con índice de impacto, es necesario remarcar que se han publicado 25 artículos durante 2007. Tres de ellos especialmente relevantes al ser artículos de revisión. Además, la actividad científica también se ha visto reconocida por los siguientes trabajos: 6 Tesis Doctorales en marcha, 2 libros, 2 capítulos de libro y 13 comunicaciones (6 de ellas orales o invitadas) a 4 Congresos Internacionales.

Publicaciones: [4.7][4.11][4.34]

4.2.1 FOTOBIOX

Desarrollo de sistemas acoplados de oxidación (foto catálisis solar y oxidación biológica) para la depuración de efluentes acuosos contaminados con plaguicidas no biodegradables.

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

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

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

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

Duración: Octubre 2006 – Septiembre 2009

Antecedentes: Diseño de reactores combinando tratamiento fotoquímico solar y biológico para depuración de aguas.

Objetivos:

1. Estudiar la detoxificación de mezclas de pesticidas mediante fotocátalisis con la utilización de técnicas de modelizado de experimentos y diseño experimental.
2. Estudio de las rutas de degradación de contaminantes y la influencia de los intermedios formados con la detoxificación y el aumento de biodegradabilidad de las aguas tratadas.
3. Estudiar la influencia sobre fotodegradación y toxicidad de otros contaminantes presentes en las aguas residuales junto a los plaguicidas.
4. Diseño de un sistema específico de depuración biológica basado en microorganismos adaptados a la naturaleza química de los contaminantes pretratados mediante fotocátalisis..
5. Diseño y construcción de un sistema integrado fotocátalisis-biológico a escala planta piloto.
6. Evaluación de la operatividad del sistema y evaluación económica del proceso

Objetivos alcanzados en 2007: Durante 2007 se cumplieron los objetivos previstos, abordándose principalmente las tareas relacionadas con objetivos 1, 2 y 3:

Se ha demostrado un aumento en la eficiencia en el tratamiento de Foto-Fenton a medida que aumenta la concentración de Fe (tanto Fe^{2+} como Fe^{3+}) y se elige 20 mg/L como concentración más adecuada. No se observan diferencias significativas entre Fe^{2+} y Fe^{3+} , aunque el consumo de H_2O_2 es superior en el caso de Fe^{3+} . Además la degradación de cada una de las materias activas de los plaguicidas, se demuestra que es más acentuada en el caso de Fe^{2+} . Este efecto más notable cuanto mayor es la concentración de Fe presente. La comparación de degradación mediante foto-Fenton o Fenton demostró que el tratamiento Foto-Fenton es más efectivo que Fenton para degradación de la mezcla de plaguicidas comerciales.

Los estudios de toxicidad y biodegradabilidad de mezclas de plaguicidas puros pre-tratados mediante foto-Fenton se han llevado a ca-

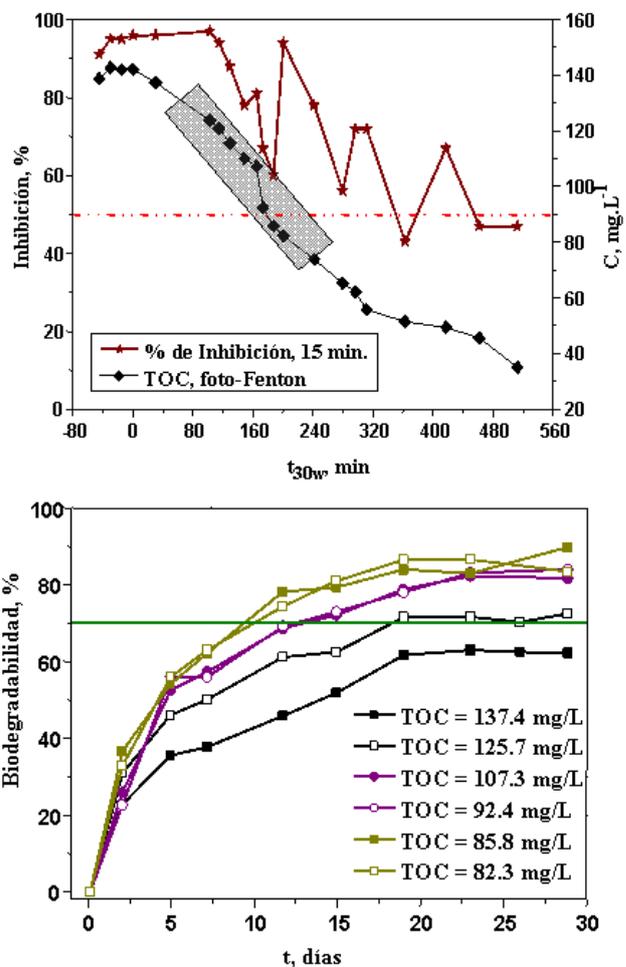


Figura 4.1 Toxicidad (arriba) y biodegradabilidad (abajo) de mezclas de plaguicidas puros pretratados mediante foto-Fenton. Las muestras seleccionadas para biodegradabilidad son las enmarcadas en la figura superior.

bo para optimizar las variables del proceso con el objetivo no ya de reducir el TOC, sino de reducir la toxicidad (medida mediante bacterias luminiscentes) del efluente utilizando este parámetro como fundamental para la comparación de resultados. Además se persigue también aumentar la biodegradabilidad. Con los resultados obtenidos se espera obtener información relevante para poder acotar mejor el momento en que el agua pueda ser biodegradable. En Figura 4.1 puede apreciarse un ejemplo de esta estrategia al demostrarse que las muestras que han presentado una bajada acusada de la toxicidad coincidiendo con la desaparición del plaguicida original (entre t_{30W} 160 y 200 min) son aquellas que muestran buenos resultados mediante Zahn-Wellens.

Publicaciones: [4.3], [4.4], [4.6], [4.8], [4.15], [4.38]-[4.42][4.46]-[4.48]

4.2.2 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: S. Malato, sixto.malato@psa.es
G. Georgiev, georgs@chem.uni-sofia.bg

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

Duración: Abril 2007 – Marzo 2010

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 PhotoNanoTech pretende desarrollar nuevas "fotocimas" (copolímeros anfifílicos que contienen comonomeros con grupos cromóforos) utilizando comonomeros 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.

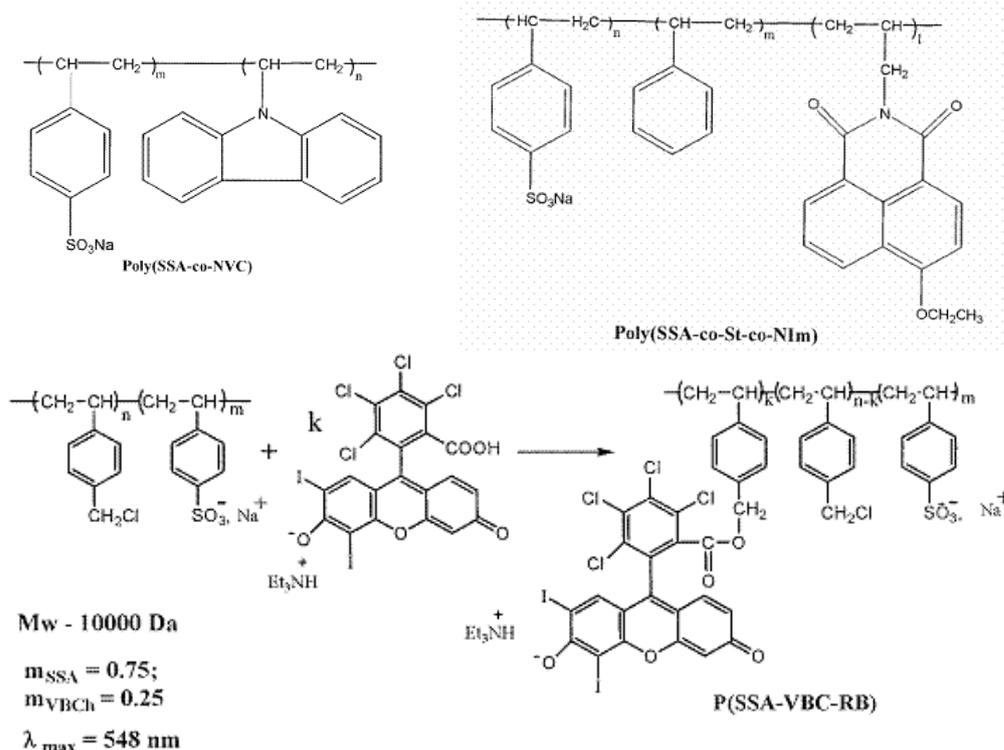


Figura 4.2 Estructuras de las fotocimas utilizadas en los primeros experimentos del proyecto Photonanotech.

Objetivos alcanzados en 2007: Los primeros experimentos realizados con la fotocima sintetizada en el laboratorio del coordinador (Universidad de Sofía) han sido:

- Poly (SSA-co-NVC)
- Poly (SSA-co-St-co-NIm)
- P(SSA-VBC-RB)

Las fotocimas Poly (SSA-co-NVC) y SSA-co-St-co-NIm no son adecuadas para ser utilizadas en descontaminación. La fotocima P(SSA-VBC-RB) tiene una absorción de luz adecuada para ser utilizada con luz solar (absorbe luz hasta 600 nm), pero no es estable bajo iluminación. La absorción de luz de la fotocima P(SSA-VBC-RB) se pierde después de 5 horas de iluminación, siendo el resultado similar a pH natural y pH10. Las fotocimas empleadas no son capaces de degradar fenol a pH natural, pero sí a pH10 (50% de conversión en 5 horas). Es preciso remarcar que el fenol es un compuesto modelo utilizado en fotocatalisis, que es fácilmente fotodegradado y mineralizado. Las fotocimas a desarrollar durante el proyecto deben ser estable bajo iluminación, teniendo en cuenta que la fotocima P(SSA-VBC-RB) posee un solape adecuado con el espectro solar

4.2.3 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: W. Gernjak, wolfgang.gernjak@psa.es
A. López, antonio.lopez@ba.irsra.cnr.it

Presupuesto: CE-VI-PM. Global Change and Ecosystems, 2.750 k€. CIEMAT: 350 K€.

Duración: noviembre 2006 – octubre 2009

Antecedentes: 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 tratamientos 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.

Objetivos alcanzados en 2007: La PSA, en cooperación con los otros colaboradores del WP2 ha elaborado un protocolo común de análisis para evaluar los ensayos. La empresa Austep ha proporcionado agua residual (procedente de la síntesis de ácido nalidíxico) para abordar un tratamiento combinado foto-Fenton/biológico. Esta agua contiene una cantidad importante de compuestos biodegradables, siendo el ácido nalidíxico el objetivo a eliminar en el trata-

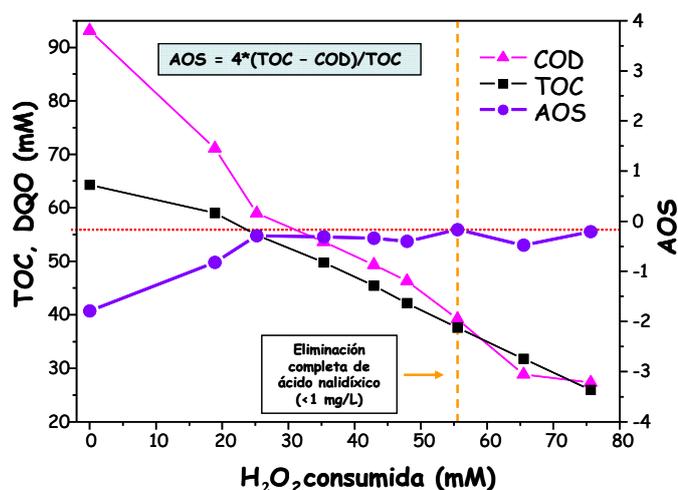


Figura 4.3 Evolución del TOC, DQO y AOS durante el tratamiento de foto-Fenton de agua residual conteniendo ácido nalidíxico..

miento combinado ya que no es biodegradable. Para ello se ha utilizado una combinación entre tratamiento solar y un reactor con biomasa fijada sobre un lecho fijo. Las uestras han sido sometidas a un complejo protocolo analítico que incluye TOC, DQO, Zahn-Wellens, HPLC-UV, toxicidad aguda mediante *Daphnia Magnae* y *Vibrio F.*, hierro disuelto, H₂O₂ y pH). El punto adecuado de vertido sobre el tratamiento biológico es aquel en el que ácido nalidíxico ha sido completamente degradado. También se ha ensayado una mezcla de cinco plaguicidas comerciales como modelo para el agua residual real de la empresa ALBAIDA

Publications: [4.9][4.10][4.12]-[4.14][4.20]-[4.22][4.24]-[4.28][4.31][4.32]

4.2.4 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 (E), UL (UK), ICROSS (Kenya), USC (E).

Contacto: K. McGuigan, kmcguigan@rcsi.ie
P. Fernández-Ibáñez, pilar.fernandez@psa.es

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

Duración: septiembre 2006 – agosto. 2009

Antecedentes: 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.



Figura 4.4 Prototipos de fotorreactor solar para desinfección de agua de 14 L (a) y de 70 L (b).

- 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 de-pendiendo 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 (morbosidad 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 en: el diseño y construcción de un prototipo de reactor solar de bajo coste y flujo continuo, basado en el uso de colectores solares de tipo CPC, diseño y construcción de un reactor fotocatalítico de tipo "batch" (por lotes); evaluación de todas las mejoras tecnológicas relacionadas con reactores y sensores de radiación en condiciones de radiación reales con microorganismos modelo adecuados (sin efectos sobre el medio ambiente); realización de un análisis de costes de las tecnologías propuestas en relación con su utilización en un país en vías de desarrollo

Objetivos alcanzados en 2007: Durante el año 2007 se ha llevado a cabo un plan trabajo experimental con el objeto de evaluar las posibilidades de llevar el proceso SODIS de la escala de 1 L ó 2 L a varias decenas de litros de volumen de tratamiento (escala de consumo doméstico diario). Partiendo del conocimiento previo del proceso SODIS con botellas de agua, se llevaron a cabo distintos experimentos de desinfección solar de agua utilizando diversos reac-

tores tipo CPC (Figura 4.5) preparados al efecto, con volúmenes de tratamiento de 2.5 L, 14 L y 70 L respectivamente.

Se estudiaron distintos parámetros como el caudal (Figura 4.7, izda.), la temperatura del agua, el área de captador solar iluminada (Figura 4.7, dcha.), el volumen total y los efectos post irradiación cuando las exposiciones solares eran limitadas en el tiempo. Se ha demostrado además que el proceso de inactivación total de las bacterias en agua por SODIS se produce cuando el sistema recibe una dosis mínima de energía solar ininterrumpida durante el tratamiento, la cual es independiente de la irradiancia solar. Esta dosis en el rango ultravioleta solar es de 108 kJ/m² (30 Wh/m²) para la inactivación total de 106 CFU/ml en 2.5 L de agua natural de pozo (turbidez = 1-2 NTU) con una captador CPC de 0.2 m² de área de apertura. Lo cual significa aportar al sistema una cantidad de energía de 9 kJ/L en el rango UV solar (Figura 4.7).

En todo caso, se utilizaron como condiciones modelo de un agua real contaminada, agua natural de pozo (sin tratamiento previo) con inóculos de la bacteria *Escherichia coli* K12. Todos los ensayos se realizaron con radiación solar real. También se estudió el efecto que produce la utilización de captado-

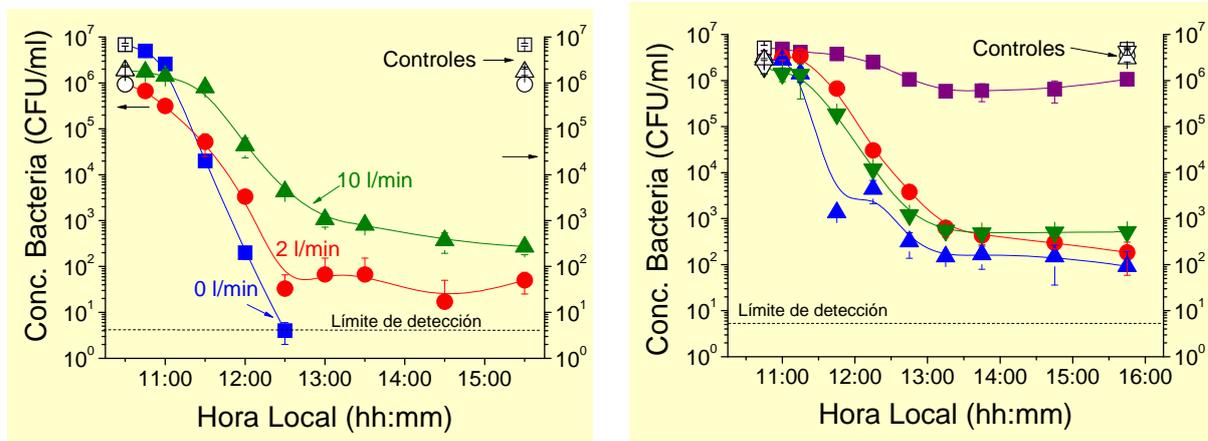


Figura 4.5 Curvas de inactivación solar de *E. coli* en los reactores CPC de 2.5 L, 14 L y 70 L a distinto caudal: 0 L/min (-■-), 2 L/min (-●-), 10 L/min (-▲-) (izquierda). Curvas de inactivación solar de *E. coli* en el reactor de 70 L. Caudal: 10 L/min; área de iluminada: 1 m² (-■-), 2 m² (-●-), 3 m² (-▲-), 4 m² (-▼-). (derecha). Los símbolos abiertos corresponden a las muestras de control.

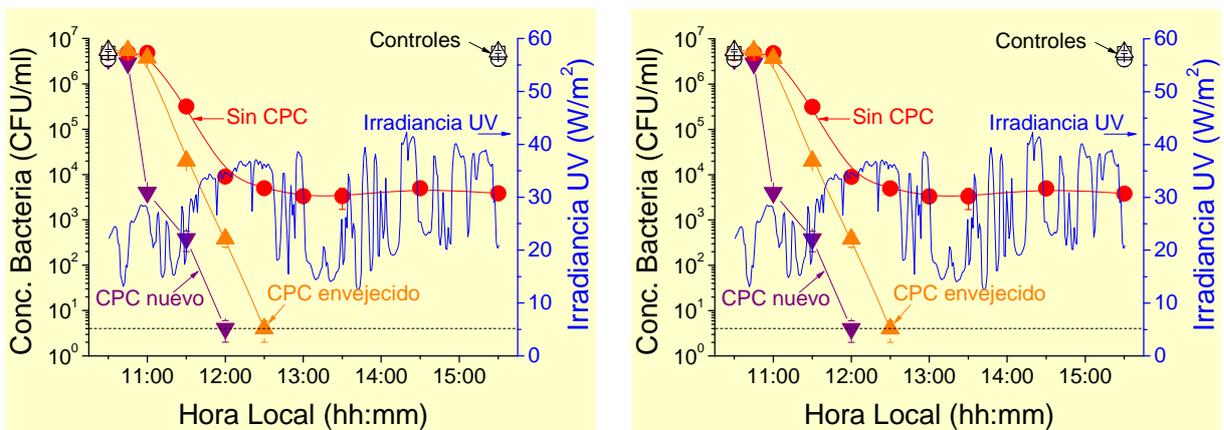


Figura 4.6 Inactivación de *E. coli* K12 bajo irradiación solar en días claros (izquierda) en un tubo con CPC (-▼-), sin CPC (-●-), botella PET (-▲-), evolución en oscuridad (-■-); y en días nublados (derecha) en tubo de vidrio con un CPC nuevo (-▼-), CPC envejecido (-▲-), sin CPC (-●-). La línea corresponde a la irradiancia solar UV (295-385 nm).

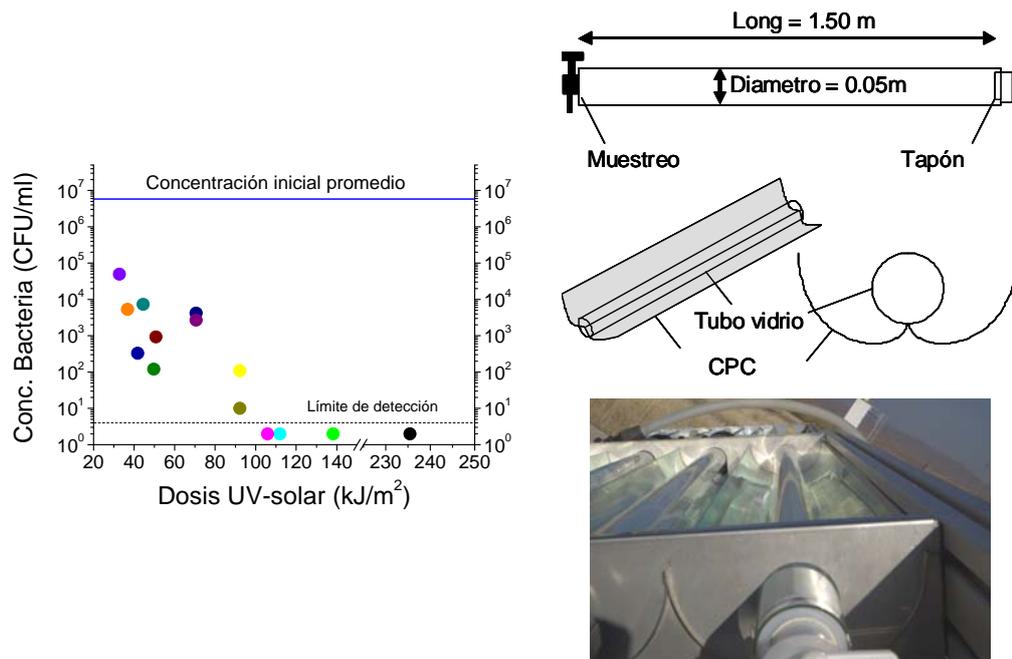


Figura 4.7 Concentración final de bacteria frente a la dosis acumulada de radiación solar UV durante 16 experimentos SODIS a distintos tiempos de exposición, de 30 minutos a 2 horas con varios valores de irradiancia solar, realizados en el sistema "batch" de 2.5 L con un CPC sin flujo (derecha).

res CPC [18, 19] sobre la eficacia del proceso desinfectante. Se evaluó la mejora producida por los sistemas CPC en condiciones de días despejados y días nublados. Para ello se utilizó de nuevo el sistema de desinfección de 2.5 L con espejos CPC de dos calidades diferentes, uno de calidad Miro-Sun (Alanod, Alemania) nuevo y otro de tipo 320-G (Alanod) deteriorado durante 3 años bajo condiciones de intemperie natural en las instalaciones de la Plataforma Solar de Almería (Figura 4.6).

Publicaciones: [4.2] [4.16] [4.17] [4.43]-[4.45] [4.29] [4.30] [4.35]-[4.37]

4.2.5 FITOSOL

Eliminación de fitopatógenos en agua mediante fotocátalisis: 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: P. Fernández-Ibáñez, pilar.fernandez@psa.es

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

Duración: octubre 2006 – septiembre. 2009

Antecedentes: 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 conven-

cionales (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 *Ospidium bornovanus*, vector del virus del cribado (MNSV) sobre plantas de melón y sandía.

Objetivos:

- Estudio a escala de laboratorio de la eliminación de microorganismos fitopatógenos modelo en la solución nutritiva de cultivos sin suelo recirculantes, mediante fotocátalisis 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 fotocátalisis 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 2007: Se ha llevado a cabo una serie de estudios a escala de laboratorio (200 ml) y de reactor prototipo (14 L) para demostrar la capacidad desinfectante de las suspensiones de dióxido de titanio bajo radiación solar real. Se han estudiado diversas variantes del hongo fitopatógenos *Fusarium*. Durante los ensayos con *Fusarium equiseti* se midió pH, conductividad, temperatura e irradiancia UVA (Figura 4.8). La temperatura máxima alcanzada fue de 25°C, la cual se halla muy por debajo de la temperatura óptima de crecimiento de *F. equiseti*. La irradiancia UV-A durante la primera hora de tratamiento fue realmente baja (15-22 W/m²) y la concentración de *F. equiseti* apenas si bajó con ninguno de los tratamientos. Sin embargo, entre 1 y 4 h de tratamiento la irradiancia aumentó desde 22 a 34 W/m² produciéndose una disminución de 2-log en la fotocátalisis y casi nada en la desinfección solar. Esta diferencia de comportamiento tan grande entre los resultados de fotocátalisis frente a inactivación solar se observó sobre todo con *F. equiseti*, mientras que el resto de variedades mostraron sensibilidad a ambos tratamientos, si bien la fotocátalisis fue en todos los casos más eficaz

En función de los resultados obtenidos a escala de laboratorio y de nuestra experiencia previa en el desarrollo de reactores de desinfección de agua, se ha llevado a cabo una serie de cálculos de parámetro de ingeniería y se va a realizar un diseño para la construcción del nuevo prototipo en 2008.

Publications: [4.1][4.5][4.23].

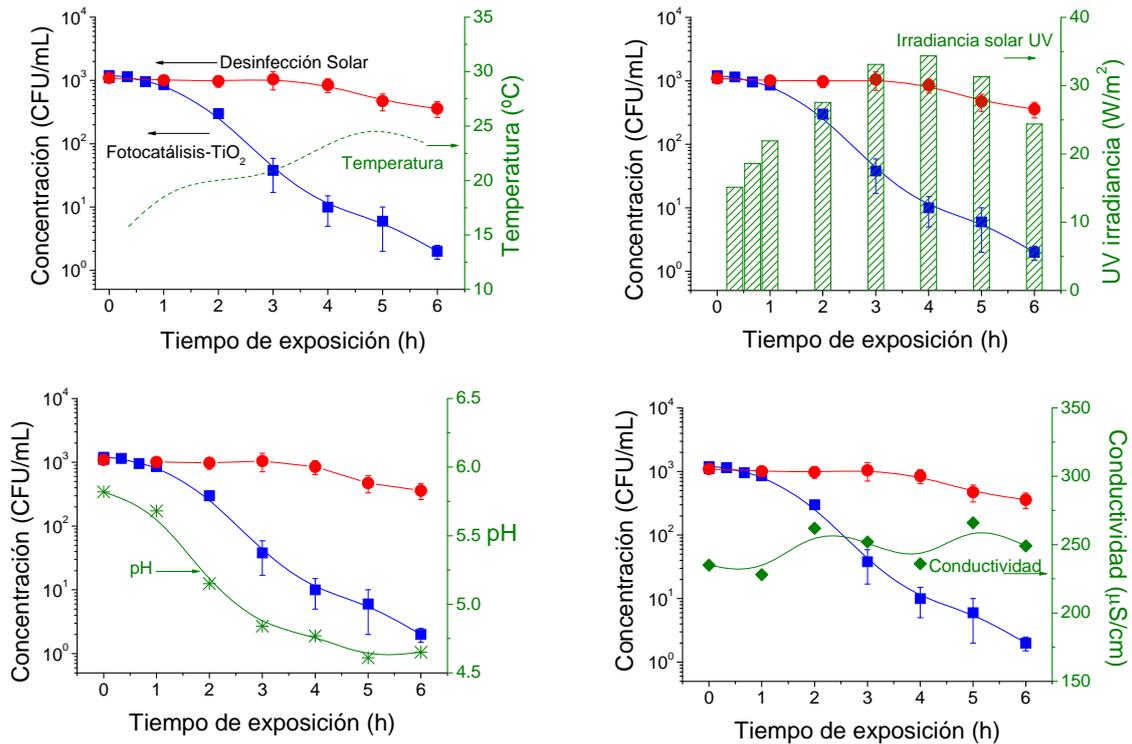


Figura 4.8 Desinfección solar y fotocatalítica de esporas de *F. equiseti*. Evolución de la temperatura (a), irradiancia UV-A (b), pH (c), conductividad (d).

4.2.6 Plan Nacional de Acceso a la PSA.

Participantes: Universidad Autónoma de Barcelona, Universidad de Barcelona, Universidad Rey Juan Carlos, Universidad de Santiago de Compostela

Contacto: M.I. Maldonado. mignacio.maldonado@psa.es

Presupuesto: Plan Nacional de I+D+I, MEC.

Duración: 2005 – 2007

Antecedentes: 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 2007 a disposición de la comunidad científica las instalaciones y el asesoramiento del personal técnico-científico de la PSA, a través del programa Programa de Acceso a Grandes Instalaciones Científicas Españolas.

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 2007: Los investigadores seleccionados por el comité de evaluadores externo y pertenecientes a diferentes G.I españoles han conseguido los siguientes resultados.

Universidad de Santiago de Compostela, Laboratorio de Parasitología; Facultad de Farmacia. Investigadores: Hipólito Gómez Couso y Elvira Ares Mazás. Comprobar el efecto de la técnica SODIS sobre la viabilidad oocística de *C. parvum* en la desinfección de agua de bebida contenida en botellas PET (similares a las que se utilizarían en países del Tercer Mundo) y bajo condiciones reales de luz solar. Se ha determinado la eficiencia de la radiación solar para desinfectar agua contaminada con oocistas de *C. Parvum* en botellas PET de 2 litros (SODIS) con agua de pozo natural (comparada con agua destilada) y con distintos valores de turbidez provocados con una matriz de suelo real (modelo tropical) bajo radiación solar natural en las instalaciones de la PSA. Se ha evaluado la mejora en la eficiencia de la desinfección provocada por el uso de captadores de tipo CPC con distintos factores de concentración (1 y 1,89).

Universidad Autónoma de Barcelona. Departamento de Química, unidad de química-física. Grupo de Fotocatálisis y Química Verde. Investigadores: M^a José Farré Olalla y José Peral Pérez. Degradación en planta piloto de los herbicidas diuron (42 mg/L) y linuron (75 mg/L) mediante el acoplamiento de un sistema químico y biológico. Comparación entre los resultados obtenidos a escala piloto y laboratorio. Cabe destacar la importancia de ser el primer estudio realizado en la PSA en el que se ha utilizado un SBR ("Sequence Batch Reactor") como reactor biológico para la degradación de un efluente fototratado. Una dosis de 5 mg/L de hierro (II) y 100 mg/L de peróxido de hidrogeno generan un efluente potencialmente biodegradable ya que se obtiene un valor de la relación DBO₅/DQO de 0.4. Los estudios a escala laboratorio previos mostraban que era necesaria una concentración de Fe(II) de 15.9 mg/L y 202 mg/L de peroxido para obtener el mismo tipo de resultados al irradiar la disolución con una fuente UVA de 6W. Se alimenta el SBR con la solución fototratada obteniendo una degradación completa de los intermedios generados en la etapa fotoquímica. Se ha utilizado una relación de DQO/Sólidos Totales en Suspensión (STS) de 0.2 y se ha comprobado que la concentración de biomasa era estable durante todo el periodo de ensayo. La Figura 4.9 muestra los resultados obtenidos en el tratamiento biológico utilizando un Tiempo de Retención Hidráulico (TRH) de 24 horas.

Universidad de Barcelona. Departamento de Ingeniería Química. Grupo de investigación de Procesos de Oxidación Avanzada. Investigadora: Fabiola Méndez Arriaga. Este proyecto abordó el estudio de la eliminación del conta-

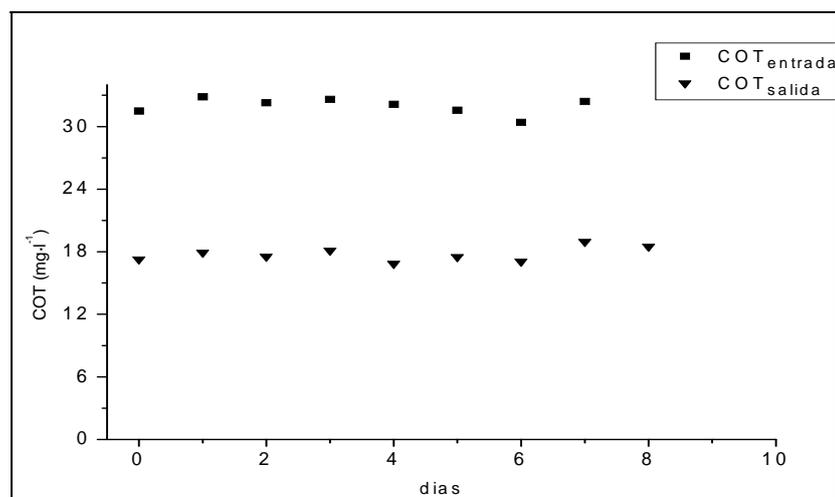


Figura 4.9 COT medido a la entrada y salida del SBR alimentado con una solución fototratada de diuron y linuron. TRH=24 horas. STS=0.2 g/L.

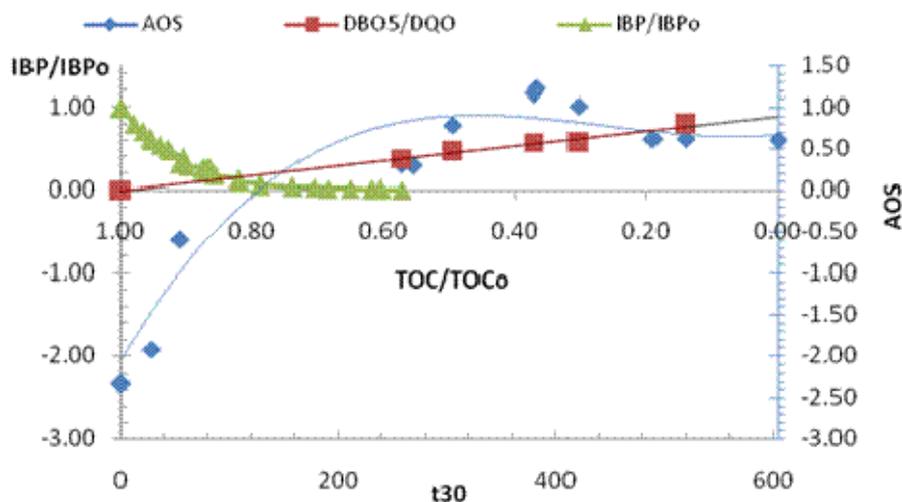


Figura 4.10 Perfil para el AOS (Estado de oxidación promedio), para la relación DBO_5/DQO e $IBP/IBPo$ en función al $TOC/TOCo$ y tiempo normalizado

minante farmacéutico ibuprofen en fase acuosa, mediante fotocatalisis heterogénea como proceso de oxidación avanzada. La degradación del ibuprofeno fue directamente proporcional a la concentración de catalizador empleado. El 50% de eliminación de TOC fue en 350, 550 y 850 min usando 1000, 500 y 100 mg/L de catalizador. La velocidad de degradación aumenta al disminuir la concentración inicial del compuesto y la presencia de peróxido de hidrógeno acelera la velocidad de degradación del ibuprofeno así como el grado de mineralización. Sin embargo la adición de peroxidisulfato no mejora la velocidad de degradación del compuesto debido al cambio inmediato del pH de la disolución. Debido al pKa del compuesto, valores por debajo de pH4.9 el precipita. Para profundizar en la posibilidad del acoplamiento entre tratamientos químico-biológicos, se realizó un experimento con 200 mg/L de ibuprofeno y para el estudio de la detoxificación del agua tratada y se llevó a cabo un monitoreo de la DBO a lo largo de la reacción. El ibuprofeno es tóxico y no biodegradable. La DBO de la solución con el compuesto original no daba valores mayores a 1 mg/L. Por lo tanto, todas las muestras utilizadas para la medida de la DBO fueron tomadas después de la completa desaparición del compuesto original. En la Figura 4.10 se muestra el perfil para el AOS (estado de oxidación medio), para la relación DBO_5/DQO e $IBP/IBPo$ en función al $TOC/TOCo$ y tiempo de iluminación. Como se puede observar la biodegradabilidad del compuesto aumenta al aumentar el tiempo de tratamiento. Se puede concluir que la mineralización parcial mediante fotocatalisis de ibuprofeno produce una disolución que es potencialmente tratable en una etapa de tratamiento biológico.

Universidad Rey Juan Carlos, Grupo de Ingeniería Química y Ambiental. Investigadores: Carlos Sordo Olivé y Javier Marugán Aguado. Estudio de la actividad fotocatalítica de los fotocatalizadores desarrollados en la Univ. Rey Juan Carlos en procesos de desinfección utilizando luz solar. El objetivo era realizar un estudio de la desinfección de *E. coli* en la planta piloto de captadores solares tipo CPC utilizando dos sistemas fotocatalíticos heterogéneos, uno donde el TiO_2 está soportado sobre las paredes del reactor y otro donde el TiO_2 se soporta sobre un lecho fijo de anillos raschigs. La evaluación de la actividad fotocatalítica de los sistemas utilizados se hizo con una disolución de azul de metileno. Se ha observado que la inactivación de *E. coli* provocada sobre el catalizador de TiO_2 heterogéneo soportado sobre la pared de vidrio del reactor

por la energía solar no es superior a la provocada únicamente por la energía solar (SODIS) mientras que la desinfección conseguida en el catalizador soportado sobre el lecho fijo es mayor que si solo se utilizara energía solar (SODIS).

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 Development of alternative methods for the preparation for high-efficiency photocatalytic materials

Participantes: CIEMAT (PSA) e ICP-CSIC (Spain).

Contactos: B. Sánchez; benigno.sanchez@ciemat.es

Financiación: MCYT Ministerio de Ciencia e Tecnología. Total project funding: 75 k€ (enero 2005 – diciembre 2007).

Antecedentes: La aplicación de la fotocatalisis al tratamiento de emisiones en fase gaseosa requiere la fijación del TiO₂ a un soporte para evitar que este material fotoactivo sea arrastrado por el efluente. Al mismo tiempo, el sustrato debe presentar una estructura abierta que facilite el paso de gas, e idealmente debe ser transparente en el rango UVA para potenciar el aprovechamiento de la luz disponible. Finalmente sería también deseable incrementar la fotoactividad intrínseca para ampliar la capacidad de tratamiento de esta tecnología. Por tanto, existe una evidente demanda de nuevos materiales fotoactivos que permitan mejorar las prestaciones de los actualmente existentes

Objetivo: La actividad principal del CIEMAT se centró fundamentalmente en la obtención de materiales recubiertos de TiO₂ para su utilización directa en el tratamiento fotocatalítico de gases. Para este objetivo se han empleado tanto soportes no porosos y transparentes a la radiación como vidrio borosilicato y polímeros orgánicos (PET, acetato de celulosa...), como sustratos porosos opacos a la luz (placas sepiolita calcinadas a diferentes temperaturas y preparadas en el ICP-CSIC). En cuanto al TiO₂ depositado se han empleado polvos comerciales de anatasa de alta área superficial, y muestras preparadas en el laboratorio por métodos sol-gel. Asimismo se han realizado también pruebas con materiales mixtos preparados también por métodos sol-gel que incorporan ZrO₂, SnO₂ además de TiO₂ y se ha abordado la preparación de TiO₂ dopado con Pt.

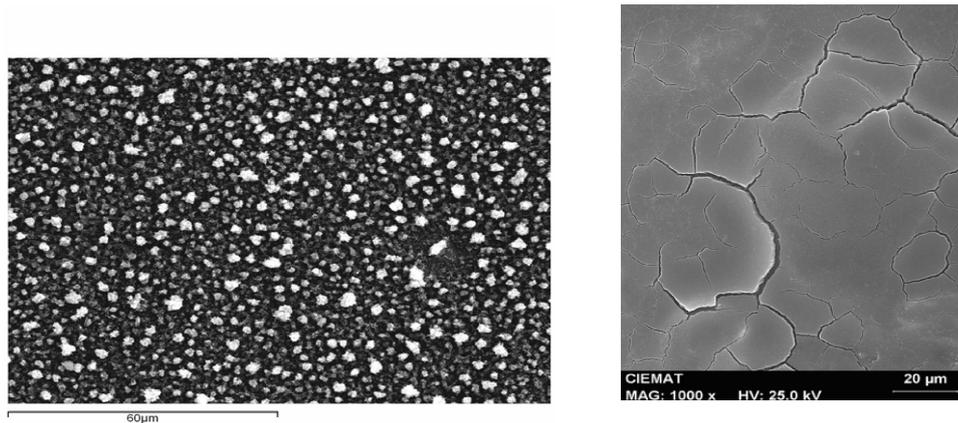


Figura 4.11 Micrografías de SEM mostrando la morfología de A) un recubrimiento de TiO_2 depositado sobre un OCT por electro-spray, y B) película de TiO_2 depositada sobre un silicato magnésico.

Logros en 2007: Durante el desarrollo del presente proyecto se han ensayado una gran cantidad de soportes y diversas modificaciones químicas del TiO_2 . De entre todos ellos cabe destacar los buenos resultados obtenidos con los soportes cerámicos de silicato magnésico, preparados en el ICP-CSIC, y recubiertos de TiO_2 en el laboratorio del CIEMAT. Estos materiales presentan una elevada fotoactividad, y al mismo tiempo son capaces de mejorar la selectividad a los productos de la mineralización total. También son muy interesantes las propiedades de los monolitos de polímeros orgánicos recubiertos de TiO_2 , ya que presenta una elevada actividad muy elevada a pesar de no estar sometido a un tratamiento térmico para mejorar su cristalización.

Finalmente también es importante destacar los buenos resultados obtenidos en la degradación fotocatalítica de tricloroetileno en fase gaseosa en un reactor de tipo CPC empleando radiación solar real como fuente de activación. Estos resultados son muy prometedores, ya que aportan evidencias de la viabilidad de esta tecnología solar para el tratamiento de efluentes gaseosos.



Figura 4.12 Colector Parabólico Compuesto para los ensayos con radiación solar, situado en la azotea del edificio (CIEMAT).

4.3.2 DETOX-H₂S

Development of a new system for the elimination of air borne toxic and corrosive compounds generated in sewage treatment plants

Participantes: CIEMAT, ICP-CSIC, ICV-CSIC and UNED (E); UENF (BRA); USACH (RCH) y University of Wisconsin (USA).

Contactos: B. Sánchez; benigno.sanchez@ciemat.es

Financiación: CAM funded project, cost shared: 700 k€

Duración: enero 2006 - diciembre 2009

Antecedentes: Las emisiones a la atmósfera de las estaciones depuradoras de aguas residuales, constituidas en su mayor parte por compuestos sulfurados y nitrogenados, generan, además de malos olores, importantes problemas ambientales y de corrosión de equipos. Por tanto es necesario controlar este problema que puede afectar negativamente tanto a la salud pública como al mantenimiento de las instalaciones

Objectives: El objetivo prioritario del programa DETOX_H2S es el desarrollo y optimización de un sistema fotocatalítico autónomo o combinado con adsorbentes selectivos, como método efectivo para controlar las emisiones gaseosas de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Los resultados previsibles son:

- 1) Desarrollo de un sistema de tratamiento fotocatalítico activado por radiación solar y/o lámparas UVA que muestre su operatividad trabajando en condiciones reales de proceso. Esta actividad se desarrolla íntegramente en el CIEMAT.
- 2) Desarrollo de un sistema de tratamiento mediante adsorción que permita retener y/o tratar los mismos caudales en las mismas condiciones de proceso.

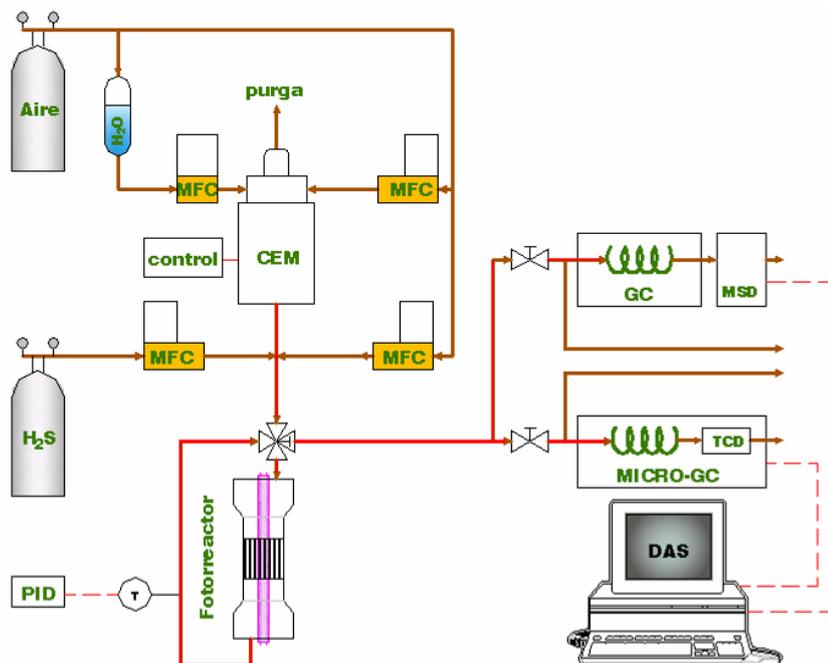


Figura 4.13 Esquema del sistema de reacción empleado para los ensayos de eficiencia fotocatalítica para la degradación de H₂S.

A partir de ambos sistemas se pretende diseñar un nuevo sistema mixto fotocatalisis-adsorción, que permita potenciar la actividad que ambos presentan por separado. Con la consecución de estos objetivos, se pretende reducir drásticamente el volumen de otros reactivos químicos utilizados para el control de estas emisiones, así como ofrecer un ambiente más seguro, tanto para la salud de los trabajadores de la planta como para el entorno que la rodea.

Logros en 2007: El grupo de Aplicaciones Ambientales de la Radiación Solar en aire del CIEMAT, estudia la eficiencia de los fotocatalizadores preparados para la eliminación de sulfuro de hidrógeno, en función de su composición y espesor, el tiempo de uso y las variables de operación (caudal, humedad, concentración, temperatura), así como la generación de subproductos, la pérdida de actividad con el tiempo y la regeneración mediante lavado con agua. Durante este periodo se ha trabajado además en la síntesis y caracterización de recubrimientos de TiO_2 nanocristalino por métodos sol-gel, con el fin de mejorar las características de este material y adaptarlas para incrementar la eficiencia en el tratamiento de H_2S . En este sentido resulta importante destacar los buenos resultados obtenidos con los materiales preparados por el ICV-CSIC, basados en una hidrólisis controlada del isopropóxido de titanio con el agente acomplejante acetilacetona y empleando polietilenglicol (PEG) para incrementar la porosidad. Por otra parte se ha dedicado un esfuerzo significativo para determinar la resistencia al envejecimiento por irradiación solar de los recubrimientos fotoactivos depositados sobre soportes poliméricos. Estos materiales son especialmente prometedores para estas aplicaciones ya que están disponibles en forma de estructuras monolíticas que facilitan el paso del gas; son ligeros, económicos y presentan un elevado rendimiento. Sin embargo, a largo plazo sufren daños por la radiación por lo que se han llevado a cabo estudios tanto en cámara climática como en exposición solar real. Los resultados obtenidos muestran que se produce una lenta foto-oxidación del polímero que depende fundamentalmente de la naturaleza del soporte de tal forma que el polietilentereftalato (PET) sufre un daño por foto-oxidación homogénea, en cambio el acetato de celulosa (CA) se ve afectado por los radicales formados fotocatalíticamente en la película de TiO_2 . Es previsible que los resultados obtenidos en esta investigación permitan elaborar estrategias para mejorar la durabilidad de estos fotocatalizadores. Por otra parte, en colaboración con la UENF se ha trabajado con TiO_2 soportado en materiales

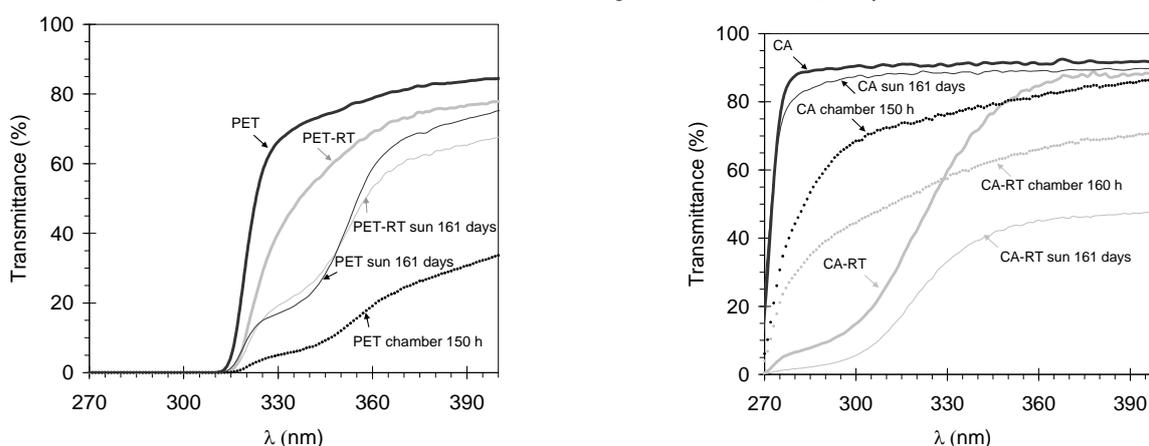


Figura 4.14 Envejecimiento de PET (izquierda) y CA (derecha) y efecto del recubrimiento TiO_2 . Transmitancia de los polimeros sin recubrimiento (negra) o recubiertos (gris), frescos (gruesa), después de 161 días de exposición al sol en Madrid, de mayo a septiembre 2006 (final) y 160 horas de envejecimiento acelerado (discontinua).

mesoporosos del tipo MCM-41 y modificados con Cr y Ce. Los resultados obtenidos con estos catalizadores muestran que son activos en la eliminación de H₂S cuando se iluminan con luz visible, lo que proporciona una vía para mejorar el aprovechamiento de la luz solar por parte de esta tecnología de destoxificación.

4.3.3 TRAGUA

Tratamiento y Reutilización de aguas residuales para una gestión sostenible

Participantes: CIEMAT, UAH, UCM, UAM, CIESOL y hasta 25 grupos de investigación diferentes.

Contactos: B. Sánchez; benigno.sanchez@ciemat.es

Presupuesto: Proyecto CONSOLIDER-INGENIO del MEC, parcial: 700 k€

Duración: enero 2006 - diciembre 2009

Antecedentes: La reutilización de aguas residuales generadas en las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDARs) es un objetivo clave para un país como España que debe afrontar un déficit hídrico continuado, que es especialmente dramático en las regiones de mayor influencia mediterránea. Sin embargo, la utilización generalizada de este recurso requiere establecer unas garantías sanitarias para que la reutilización del agua sea una opción segura y aceptable. Estas consideraciones quedan reflejadas en el nuevo Real Decreto 1620/2007 sobre reutilización de aguas depuradas. En este sentido uno de los objetivos fundamentales del proyecto TRAGUA es evaluar la calidad microbiológica de las aguas depuradas, determinar la presencia de microcontaminantes emergentes, y establecer métodos efectivos, y viables económicamente para incrementar la calidad de este recurso y ampliar sus posibilidades de uso.

Objetivos: La labor del grupo de Aplicaciones Ambientales de la Radiación Solar en aire del CIEMAT, como parte integrante del área de tratamientos intensivos de aguas residuales, es evaluar la utilización de la fotocatalisis solar basada en la utilización de TiO₂ para la desinfección y la eliminación de los microcontaminantes emergentes empleando plantas piloto (39 litros de volumen) basadas en colectores CPC. Esta labor se realiza en estrecha coordinación con la desempeñada por el grupo del CIESOL, que desarrollará la metodología analítica adecuada para determinar la presencia de trazas de contaminantes no biodegradables y que, por tanto, no son eliminados por los tratamientos biológicos de las EDARs.

Logros in 2007: Durante este primer año el grupo ha participado en la elaboración de las bases de datos del estado de la depuración del agua en España realizando la recopilación de datos y elaborando las fichas correspondientes a las provincias de Cádiz y Sevilla. En total se han obtenido la información básica de 55 EDARs en Sevilla y 84 en Cádiz.

Para evaluar la fotoeficiencia de los distintos fotocatalizadores se han acondicionado las siguientes instalaciones:

Dos prototipos gemelos formados por tres módulos de CPC dispuestos en serie, con 3.08 m² de superficie irradiada. El reflector CPC está fabricado con aluminio altamente anodizado. Cada uno de los módulos está montado sobre un marco de chapa galvanizada y consta de 8 tubos, la estructura global se encuentra inclinada con un ángulo igual a la latitud local del emplazamiento (37°) (Figura 4.15). Los tres módulos están conectados en serie y el fluido de

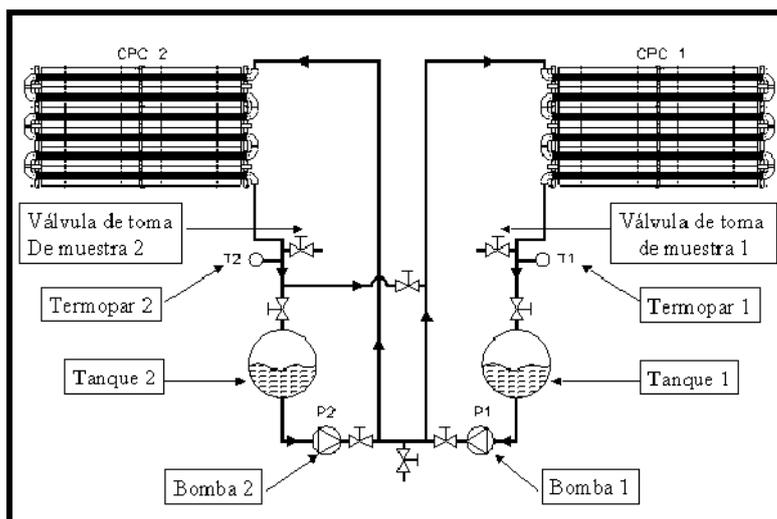


Figura 4.15 Diagrama de flujo de los dos foto-reactores solares CPC gemelos adaptados en la PSA para ensayos de TiO_2 soportado.

trabajo circula directamente de uno a otro y al final hasta un tanque de recirculación esférico de vidrio borosilicatado y de 10 L de capacidad. Una bomba centrífuga (PAN WORLD, Modelo: NH-100 PX, 100 W) devuelve el fluido a los concentradores a un caudal constante de 20 L/min, en operación discontinua. De este modo, el flujo, en régimen turbulento (Reynolds alrededor de 17000), se establece en un circuito formado por tubos de vidrio irradiados y tubos opacos de HDPE (polietileno de alta densidad).

Cada uno de los tanques esféricos dispone también de una tapa de cristal que permite introducir algunos elementos durante un ensayo tales como reactivos, gas (aire, oxígeno, gas inerte, etc.), un electrodo de pH o cualquier otro elemento útil. Por otro lado, en la tubería de entrada a ambos tanques se han insertado dos termopares en línea (PT-100, Philips, Digital-280), que indican la temperatura en cada instante en el interior de los fotorreactores.

4.4 Grupo de desalación solar

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 las 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 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.

Durante el año 2007 es de destacar el inicio de dos nuevos proyectos de investigación (Proyectos POWERSOL y MEDIODIA), así como la finalización de la construcción de la planta piloto de ensayo de módulos de destilación por membrana, en el marco del Proyecto MEDESOL.

De igual forma, dentro del Plan Nacional de Acceso a la Plataforma Solar de Almería, diversos grupos de investigación procedentes de diversas universidades españolas han tenido la oportunidad de poder llevar a cabo estancias de investigación utilizando las diferentes instalaciones de desalinización existentes en la PSA.

4.4.1 POWERSOL

Generación de energía mecánica basada en motores solares térmicos. <http://www.psa.es/projects/powersol>

Participantes: CIEMAT-PSA (Coord., E), Univ. de La Laguna (E), IDMEC (P), AOSOL (P), ETH (CH), ECOSYSTEM (E), INETI (P), ENIT (TUN), PHOCHEM (EGY), LOTUS (EGY), AES (TUN), LENREZA (DZ), Univ. de Sevilla (Coord., E)

Contacto: J. Blanco, julian.blanco@psa.es
L. García, lourdesg@esi.us.es

Presupuesto: FP6-2004-INCO-MPC-3. Topic: B.1.5 – Renewable Energy: Cost-effective renewable energies for Mediterranean specific needs; 1.050 k€.

Duración: enero 2007 – diciembre 2009

Antecedentes: La ausencia de red eléctrica y/o la escasez de agua potable son factores limitantes en el desarrollo socioeconómico de muchas regiones del área Mediterránea donde los recursos solares son abundantes. Por lo tanto, el uso de las tecnologías solares ofrece una oportunidad para el suministro de las necesidades básicas promoviendo al mismo tiempo el desarrollo de las ciudades comunidades. La generación termosolar ha sido desarrollada con el objetivo de producir electricidad en el rango de decenas de MW (Plantas SEGS, USA). Sin embargo, muchas aplicaciones en áreas remotas, tales como el bombeo para riego, climatización, electrificación rural, etc., sólo requieren para su desarrollo de unas decenas de kW. Además, en áreas remotas se requieren sistemas sencillos y robustos, fáciles de controlar y operar y que no precisen de mano de obra cualificada.

Objetivos: El principal objetivo del Proyecto POWERSOL es el desarrollo de una tecnología de generación de energía mecánica basada en energía solar térmica, que cumpla al mismo tiempo los principios de bajo coste y respeto al medioambiente, y que esté optimizada para el suministro de las necesidades básicas de comunidades rurales o de escasa población.

Objetivos alcanzados en 2007: Durante el inicio del proyecto se ha llevado a cabo una extensa recopilación bibliográfica en el campo de los motores solares térmicos, los captadores solares térmicos de baja y media temperatura, así como los ciclos termodinámicos y fluidos de trabajo propuestos en la literatura científica o implementados a nivel comercial.

Se han considerado tres rangos de temperatura máxima diferentes: 80-90°C (ciclo 1), 150°C (ciclo 2), y 250-300°C (ciclo 3), y se ha llevado a cabo las simulaciones termodinámicas correspondientes con objeto de determinar los fluidos de trabajo más apropiados para cada uno de los ciclos.

Durante el año 2007 también se ha iniciado el diseño de tres captadores solares térmicos para su empleo en los respectivos ciclos mencionados anteriormente. En el caso de ciclo 1 se implementará un captador solar de placa plana avanzado, mientras que para el ciclo 2 se llevará a cabo un diseño de

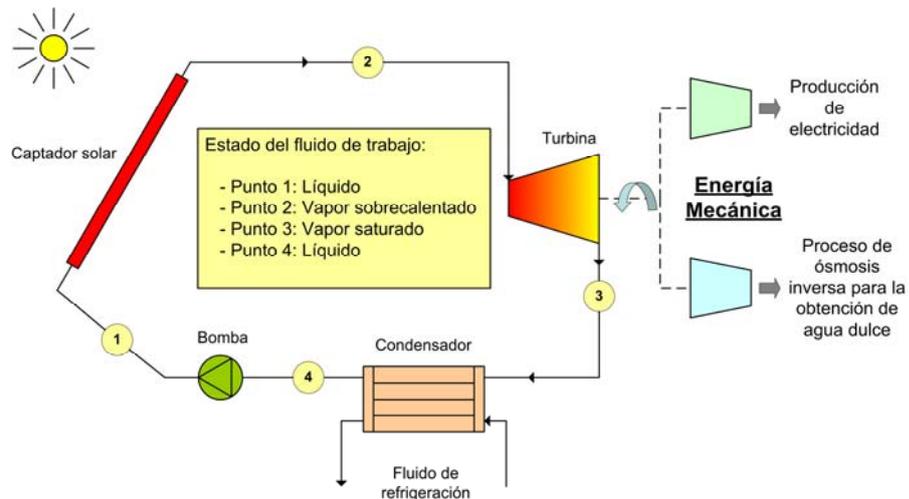


Figura 4.16 Diagrama conceptual de sistema POWERSOL

captador solar de tipo CPC. Para el ciclo 3 se ha decidido diseñar e implementar un concentrador lineal de Fresnel.

También durante el año 2007 se han iniciado el proceso de diseño para la implementación de una planta piloto de ciclo Rankine orgánico de 5 kWe para su acoplamiento al campo de captadores cilindro-parabólicos de la planta SSPS. La instalación de dicha planta está prevista para los primeros meses del año 2009 y permitirá llevar a cabo experiencias con ciclos ORC en el rango de 160°C a 250°C.

Publicación: [4.49]

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, Coord.), 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: J. Blanco, julian.blanco@psa.es
W. Gernjak, wolfgang.gernjak@psa.es

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

Duración: octubre 2006 – septiembre 2009

Antecedentes: 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. El principio del proceso se puede ver en la Figura 4.17. El vapor de agua atraviesa una membrana hidrofóbica a causa de una diferencia de pre-



Figura 4.18 Vista general de las instalaciones de la planta piloto MEDESOL-1 (izq.); Detalle de los tres módulos de destilación por membrana (dcha.)

sión 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.

Objetivos: (i) Investigar el proceso de destilación por membranas para aumentar la eficiencia del sistema. (ii) desarrollar conceptos del sistema que permiten 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.

Objetivos alcanzados en 2007: Durante el primer semestre del año 2007 la tarea principal del proyecto ha sido el desarrollo de componentes técnicos. Asimismo, varios socios del proyecto han llevado a cabo los siguientes desarrollos: (i) captador solar de tipo CPC diseñado específicamente para las temperaturas del proceso de destilación por membranas (70 – 100 °C); (ii) desarrollo de superficies que minimizan la formación de precipitado, las cuales han sido implementadas en las placas del intercambiador de calor de titanio insta-

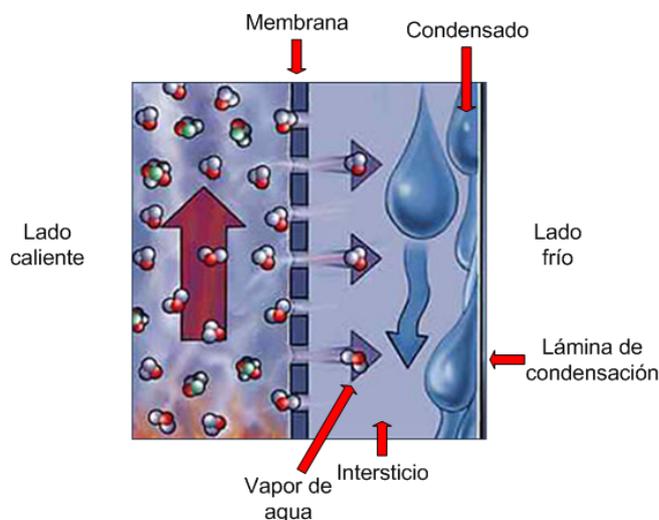


Figura 4.17 Principio del proceso de destilación por membranas (cortesía de Xzero, Suecia)

lado en la planta piloto bajo ensayo en la Plataforma Solar de Almería.

Durante el segundo semestre se llevó a cabo el diseño e instalación de la planta piloto de destilación por membranas MEDESOL-1, cuyas características fundamentales han sido descritas en la sección de infraestructuras de la PSA. Dicha planta piloto tiene como objeto el probar los componentes así como los conceptos desarrollados en el proyecto MEDESOL. La puesta en marcha de dicha planta está prevista para el primer semestre del año 2008.

4.4.3 OSMOSOL

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

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

Contacto: J. Blanco, julian.blanco@psa.es
L. García, lourdesg@esi.us.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

Antecedentes: 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/m³. Teniendo en cuenta los 2 10⁶ m³/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.

Objetivos alcanzados en 2007: Durante este año se ha colaborado en el diseño de un captador solar estático de tipo CPC para su utilización en ciclos Rankine orgánicos con una temperatura máxima en torno a 90°C, con valores de eficiencia cercanos al 50% y con un coste económico en el rango de 300-350 EUR/m².

Se han instalado varios captadores Ao Sol CPC 1.15x de nueva generación en el campo de captadores solares estáticos de la planta SOL-14 (descrito en la sección 2.8), con objeto de estudiar el comportamiento de los nuevos materiales empleados en su construcción para el mismo rango de temperaturas al que debería estar sometido el prototipo de captador OSMOSOL. Se ha podi-

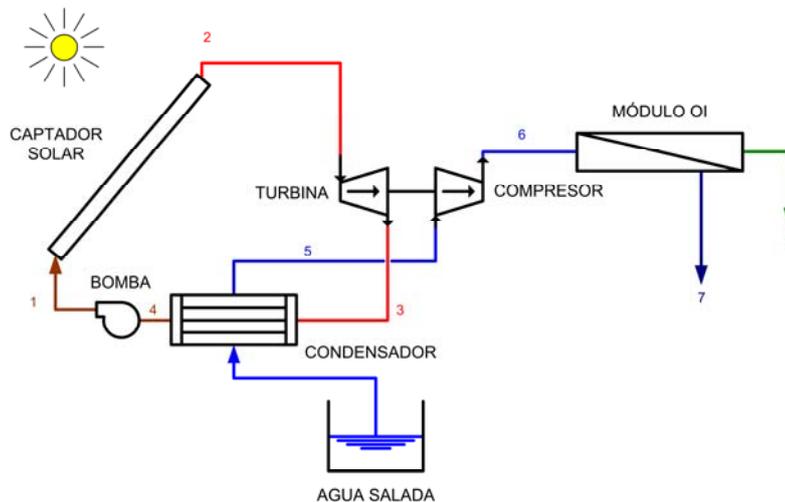


Figura 4.19 Sistema genérico de ósmosis inversa acoplado a un motor solar

do comprobar la ausencia de problemas que aparecieron con la anterior generación de captadores CPC 1.12x.

Asimismo se ha llevado a cabo la simulación de diferentes tipos de captadores solares avanzados con objeto de determinar su fracción solar anual y poder determinar la eficiencia de sistemas híbridos de desalación por ósmosis inversa acoplados a ciclos Rankine orgánicos de producción de energía mecánica.

4.4.4 DEREDES

Desarrollo de la desalación mediante energías renovables. <http://www.befesa-cta.es/deredes/>

Participantes: Befesa Construcción y Tecnología Ambiental (Coord., E), Instituto Tecnológico de Canarias, S.A. (E), CIEMAT-PSA (E) (subcontratado por Befesa) y Universidad de La Laguna (E) (subcontratado por Befesa)

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

Presupuesto: MICYT (Proyecto PROFIT); 83 k€ (CIEMAT).

Duración: abril 2006 – diciembre 2007

Antecedentes: Los procesos de desalación consumen cantidades apreciables de energía, por lo que la generalización de su uso exige un incremento paralelo de recursos energéticos con el consiguiente incremento de impactos medioambientales. En este sentido resulta de crucial importancia el crecimiento en la implantación de las tecnologías más eficientes y sostenibles. En cuanto al ahorro de combustibles fósiles y la reducción de impactos ambientales la aplicación de las energías renovables ofrece la alternativa más evidente.

Objetivos: El objetivo general del presente proyecto es impulsar la actividad empresarial en el campo de la desalación mediante energías renovables a nivel de diseño, instalación y mantenimiento de sistemas. Para ello se contemplaron los siguientes objetivos específicos:

1. Valoración tecno-económica comparativa de las distintas tecnologías.
2. Diseño de plantas pre-comerciales para tres escenarios distintos.

3. Identificación de organismos y empresas que puedan favorecer a la implantación de las tecnologías de desalación con energías renovables.
4. Establecimiento de una estrategia de I+D para la planificación de la continuidad de las actividades emprendidas.
5. Difusión de los resultados

Objetivos alcanzados en 2007: Durante el año 2007 se han finalizado las tareas correspondientes a las Fases 3 (Valoración de tecnologías no maduras aún. Necesidades de desarrollo), 4 (Evaluación tecno-económica de tecnologías aplicables por su madurez) y 5 (Selección final de tecnologías y diseño).

En lo que se refiere a las fases 4 y 5, se han planteado tres escenarios: Escenario 1 (Lugares tecnificados con red eléctrica y grandes demandas de agua), Escenario 2 (Zonas insulares con demandas medias de agua) y Escenario 3 (Zonas aisladas litorales y de interior).

Dentro de la fase 4, CIEMAT ha contribuido con el análisis tecno-económico de sistemas solares MED con respaldo de gas (tanto en el caso de plantas de cogeneración electricidad-agua como de propósito específico) en el caso del Escenario 1. Dentro del Escenario 2, se ha llevado a cabo dicho análisis para plantas MED con energía solar térmica de baja temperatura y respaldo de biodiesel y plantas MED acopladas a estanques solares de gradiente salino. Dentro del Escenario 3, CIEMAT ha analizado la opción de la destilación por membranas con energía solar térmica.

En lo que se refiere a la fase 5, CIEMAT ha llevado a cabo un análisis de detalle para el acoplamiento de un campo de captadores solares cilindro-parabólicos a una planta de destilación MED de 57600 m³/día con respaldo de gas natural, obteniendo un coste total del agua desalada de 2,14 EUR/m³.

4.4.5 MEDIODIA

Multiplicación de esfuerzos para el desarrollo, innovación, optimización y diseño de invernaderos avanzados

<http://www.cenitmediodia.com/>

Participantes: Repsol YPF (E), Acciona Solar (E) (CIEMAT-PSA como organismo subcontratado), Ulma Agrícola (E), Ulma Packaging, Acciona Agua (E), Ulma Handling Systems (E), Fundación Cajamar (E), Agrobio, Biomiva (E), Grupo AN (E), Ingeteam (E)

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

Financiación: Ministerio de Industria, Comercio y Turismo (Proyecto CENIT);

Duración: Enero 2007 – Diciembre 2010

Antecedentes: La agricultura intensiva es uno de los subsectores agrarios más significativos. Por ello se precisa llevar a cabo las actividades de investigación y desarrollo que permitan situar a España a la vanguardia de la tecnología agroalimentaria, pasando de ser compradores de tecnología a ser un referente europeo y mundial. Sus resultados que puedan obtenerse en este campo irán, además, más allá del propio sector agroalimentario, impulsando otras actividades industriales y de servicios.

Objetivos: El objetivo general del proyecto es realizar una investigación de carácter estratégico en el campo de la agricultura bajo plástico que permita el desarrollo de un nuevo concepto de invernadero avanzado, altamente auto-

matizado, eficiente en el consumo de energía y agua y que permita cultivos diversificados y rentables en cualquier época del año en distintos climas españoles, mediante un sistema de producción integrada.

Objetivos alcanzados en 2007: Durante este período, se ha llevado a cabo un análisis de las distintas opciones y tecnologías existentes de desalación de agua de mar mediante energía solar térmica para su aplicación a la agricultura intensiva bajo plástico, tanto a nivel individual como a nivel centralizado.

4.5 Caracterización de la Radiación Solar

Durante el año 2007, las actividades relacionadas con el estudio y la caracterización de la Radiación Solar se han centrado en la participación en Proyectos relacionados con la:

- Análisis 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 [4.53]-[4.58].

4.5.1 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 eran:

- a. Desarrollo de metodologías automáticas de filtrado y clasificación de los espectros medidos.
- b. Validación de modelos espectrales de la radiación global, difusa y directa normal.
- c. Caracterización y análisis de la influencia de la distribución espectral de la radiación solar en las distintas tecnologías.
- d. Estimación de componentes atmosféricos a partir de medidas espectrales de irradiancia solar directa.

Como extensión del trabajo ya iniciado durante el 2006, en el año 2007 se ha finalizado con la estimación de parámetros atmosféricos a partir de medidas de irradiancia espectral. En particular, el trabajo se ha centrado en la estimación de los parámetros de turbiedad atmosférica y en la estimación de la columna de ozono usando las medidas de la irradiancia solar espectral directa con el espectrorradiómetro SP 320 D durante el período de Octubre 2005 a septiembre de 2006. Los valores de turbiedad de Angstrom (Figura 4.21) muestran que la turbiedad tiene un comportamiento estacional, encontrándose valores de turbiedad bajos durante el otoño y el invierno, y con valores puntualmente elevados en los períodos de primavera y verano. Además, se han identificado días con valores muy elevados de turbiedad atmosférica asociados a la intrusión de polvo Sahariano (Figura 4.20).

En relación con el ozono, se ha desarrollado un procedimiento sencillo para la estimación de la columna de ozono a partir de medidas espectrales de irradiancia solar directa en la banda de Huggins. Los resultados para los días despejados del periodo Octubre 2005 a Septiembre 2006 se presentan en la

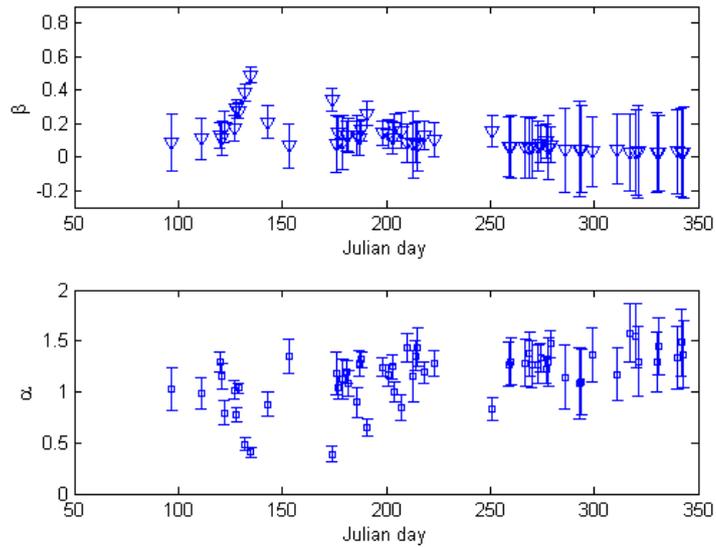


Figura 4.20 Medias diarias de los parámetros de turbiedad de Angstrom

Figura 4.22, donde se comparan con los datos de satélite del instrumento OMI (TOMS – Total Ozone Mapping Spectrometer) ofrecidos por la NASA. La concordancia entre ambos valores es muy buena con errores por debajo del 5%.

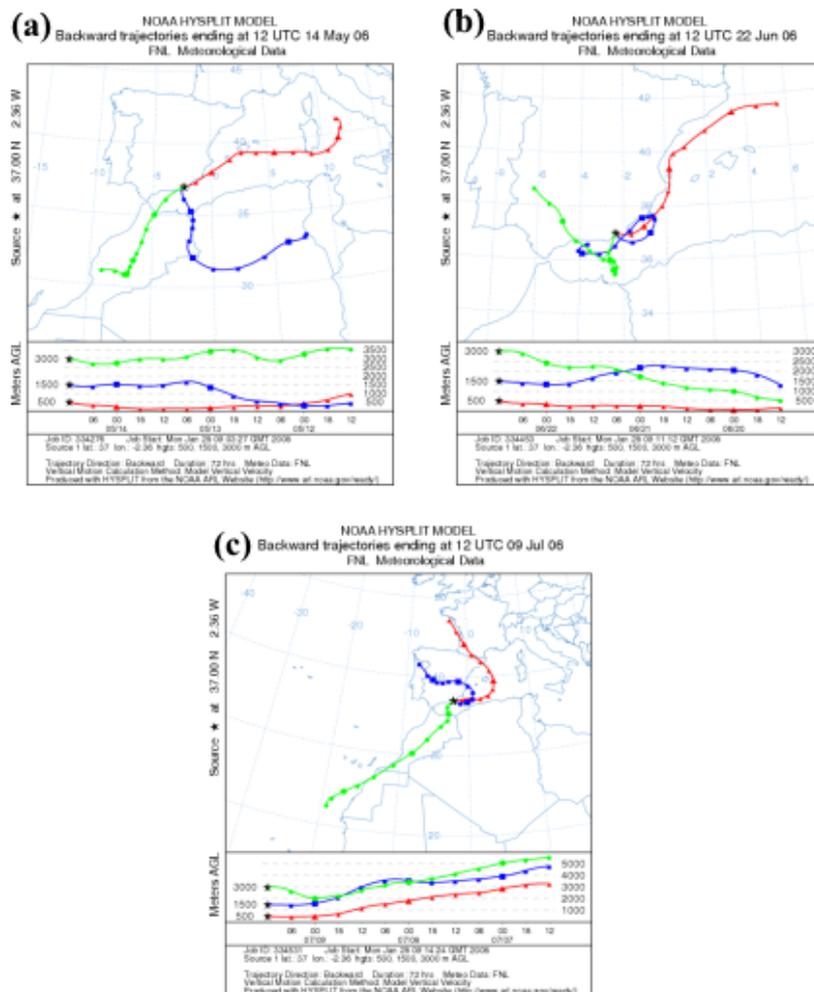


Figura 4.21 Retrotrayectorias de la masa de aire estimadas con HYSPLIT para los días de turbiedad atmosférica elevada

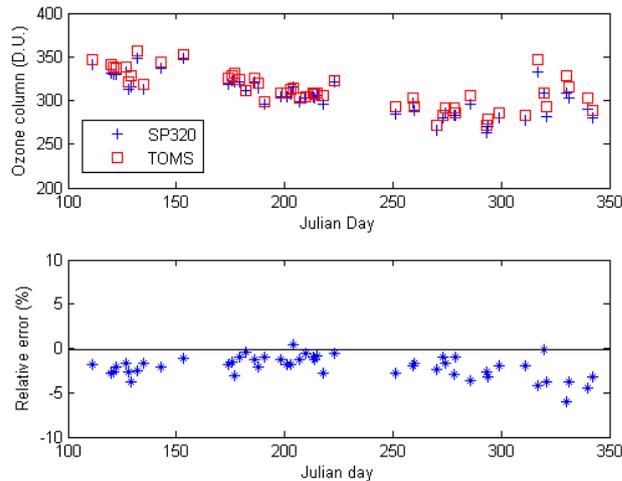


Figura 4.22 Valores medios diarios de la columna de ozono comparados con las estimaciones de satélite

4.5.2 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 2007 se han realizado numerosos contactos con empresas que finalmente se han materializado en la realización de diversas asistencias técnicas y tres Acuerdos de Colaboración.

4.5.3 Participación en el proyecto SOLAR TRES

En relación con el proyecto SOLAR TRES financiado por la Unión Europea, el grupo de caracterización de la radiación solar ha colaborado con el análisis completo del recurso solar en el emplazamiento, empleando la base de datos de 12 años de imágenes de satélite para suministrar 12 años de datos horarios de irradiación global y directa normal. Además, de ha calculado un año meteorológico tipo para el emplazamiento de SOLAR TRES. Por otro lado, se ha participado en la revisión y asesoramiento de la estación meteorológica que actualmente está tomando datos de radiación solar en el futuro emplazamiento de esta planta.

4.5.4 Proyecto MESOR

En el segundo semestre del 2007 ha comenzado su andadura el proyecto MESOR (Management and Exploitation of Solar Resources) financiado por el VI Programa Marco de la Unión Europea. En este proyecto se colabora con los grupos más reconocidos internacionalmente en el campo del recurso solar para avanzar en los siguientes objetivos:

- Estandarización de las medidas de incertidumbre y la intercomparación de modelos y métodos para la estimación de la radiación solar a partir de imágenes de satélite
- Elaboración de una guía de usuario relativa al tratamiento y manejo de bases de datos de radiación solar
- Diseño y construcción de un portal en Internet para homogeneizar y distribuir de forma sencilla datos y productos relacionados con el conocimiento del recurso solar en la superficie terrestre.

4.6 Referencias

Selection of TiO₂-Support: UV-Transparent Alternatives and Long-Term Use Limitations for H₂S Removal". Raquel Portela, Benigno Sánchez, Juan M. Coronado, Roberto Candal, Silvia Suárez. Catal. Today 129(1-2) 223-230 (2007).

- [4.1] 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.* 74 (2007) 152-160.
- [4.2] Sichel C, Blanco J, Malato S, Fernández-Ibáñez P. "Solar Effects of experimental conditions on E. coli survival during solar photocatalytic water disinfection." *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.* 189 (2007) 239-246.
- [4.3] B. Bayarri, O. González, M. I. Maldonado, J. Giménez and S. Esplugas. "Comparative study of 2,4-dichlorophenol degradation with different advanced oxidation processes". *ASME-Journal of Solar Energy Engineering*, 129, 60-67, 2007.
- [4.4] Ana García-Ripoll; A. M. Amat; A. Arques; R. Vicente; M.F. López; I. Oller; M.I. Maldonado; W. Gernjak; "Increased biodegradability of Ultracid in aqueous solutions with solar TiO₂ photocatalysis". *Chemosphere* 68 (2007) 293-300.
- [4.5] Pilar Fernández-Ibáñez, J. Tello, Ana M^a Amat, Jose A. Sánchez-Pérez, Sixto Malato. Eliminación de fitopatógenos y de contaminantes en agua mediante fotocatalisis solar. *Tecnoambiente*, 172, 17-21, 2007.
- [4.6] 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. Inter.*, 33(3-5), 407-420. 2007.
- [4.7] 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, 2007.
- [4.8] 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, 2007.
- [4.9] 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, 2007.
- [4.10] Gernjak W., Krutzler T., Malato S., Bauer R. Photo-Fenton Treatment of Olive Mill Wastewater Applying a Combined Fenton/Flocculation Pretreatment. *J. Solar Energy Eng.*, 129, 53-59, 2007.

- [4.11] Sixto Malato, Julián Blanco, Diego C. Alarcón, Manuel I. Maldonado, Pilar Fernández-Ibáñez, Wolfgang Gernjak. Photocatalytic Decontamination and Disinfection of water with Solar Collectors. *Catalysis Today*, 122, 137-149, 2007.
- [4.12] I. Oller, S. Malato, J.A. Sánchez-Pérez, W. Gernjak, M.I. Maldonado, L.A. Pérez-Estrada and C. Pulgarín. A combined solar photocatalytic-biological field system for the mineralization of an industrial pollutant at pilot scale. *Catalysis Today*, 122, 150-159, 2007.
- [4.13] Ivan Muñoz, José Peral, José Antonio Ayllón, Sixto Malato, Maria José Martín, Jean Yves Perrot, Martin Vincent, Xavier Domènech. Life cycle assessment of a coupled advanced oxidation-biological process for wastewater treatment. Comparison with granular activated carbon adsorption. *Environ. Engineering Sci.*, 24(5), 638-651, 2007.
- [4.14] Sixto Malato, Julián Blanco, Manuel I. Maldonado, Isabel Oller, Wolfgang Gernjak, Leonidas Pérez-Estrada. Coupling solar photo-Fenton and biotreatment at industrial scale: Main results of a demonstration plant. *J. Hazar. Materials*, 146, 440-446, 2007.
- [4.15] J. M. Peralta-Hernández; J. Manríquez; Y. Meas-Vong; F. J. Rodríguez; T. W. Chapman; M. I. Maldonado; Luis A. Godínez; "Photocatalytic properties of nano-structured TiO₂-Carbon films obtained by means of electrophoretic deposition". *Journal of Hazardous Materials* 147 (2007) 588-593.
- [4.16] Méndez-Hermida F, Ares-Mazás E, McGuigan KG, Boyle M, Sichel C, Fernández-Ibáñez P. " Disinfection of drinking water contaminated with *Cryptosporidium parvum* oocysts under natural sunlight and using the photocatalyst TiO₂." *J. Photochem. Photobiol. B.* 88 (2007) 105-111.
- [4.17] Sichel C, Tello C, de Cara M, Fernández-Ibáñez P. "Effect of UV-intensity and dose on the photocatalytic disinfection of bacteria and fungi under natural sunlight." *Catalysis Today*, 129, 152-160, 2007.
- [4.18] M. Boyle, C. Sichel, P. Fernández-Ibáñez, G.B. Arias-Quiroz, M. Iriarte-Puñá, A. Mercado, E. Ubomba-Jaswa, K.G. McGuigan. Bactericidal Effect of Solar Water Disinfection under Real Sunlight Conditions. *Appl. Environ. Microbiol.*, in press..
- [4.19] C. Navntoft, L. Dawidowski, M. A. Blesa, P. Fernández-Ibáñez, E.A. Wolfram, A. Paladini. A methodology to assess UV-A (315-400 nm) irradiance and irradiation estimation from measurements at 380 nm for environmental applications of solar energy. *Solar Energy*, in press
- [4.20] 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. *Wat. Sci. Technol.*, 55(12), 229-235, 2007.
- [4.21] Leónidas A. Pérez-Estrada, Sixto Malato, Ana Agüera, Amadeo R. Fernández-Alba. Degradation of Dipyrone and its main intermediates by solar AOPs. Identification of intermediate products and toxicity assessment. *Catalysis Today*, 129, 207-214, 2007.
- [4.22] Javier Marugán, Jose Aguado, Wolfgang Gernjak, Sixto Malato. Solar photocatalytic degradation of dichloroacetic acid with silica-supported titania at pilot plant scale. *Catalysis Today*, 129, 59-68, 2007.
- [4.23] M. De Cara, C. Sichel, P. Fernández, J. Blanco, M. Santos, J.C. Tello. Desinfección de aguas para uso agrícola mediante el uso de la radiación solar. *Vergel Agrícola*, 311, 510-514, 2007.
- [4.24] I. Oller, S. Malato, J.A. Sánchez-Pérez, M.I. Maldonado, R. Gassó. Detoxification of wastewater containing five common pesticides by Solar AOPs-Biological coupled system. *Catalysis Today*, 129, 69-78, 2007.

- [4.25] 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*, 129, 79-85, 2007.
- [4.26] I. Oller, S. Malato, J.A. Sánchez-Pérez, M.I. Maldonado, W. Gernjak, L.A. Pérez-Estrada, J.A. Muñoz, C. Ramos and C. Pulgarín. Pre-Industrial-Scale Combined Solar Photo-Fenton and Immobilised Biomass Activated-Sludge Bio-treatment. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 46, 7467-7475, 2007.
- [4.27] Jordi Bacardit, Isabel Oller, Manuel I. Maldonado, Esther Chamarro, Sixto Malato and Santiago Esplugas. Simple Models for the Control of Photo-Fenton by Monitoring H₂O₂. *J. Adv. Oxid. Technol.*, 10(2), 219-228, 2007.
- [4.28] Julián Blanco, Sixto Malato. Plantas de tratamiento mediante fotocatalisis solar: de la investigación básica a una realidad comercial. *VÉRTICES, la Revista del CIEMAT*, 3, 22-26, 2007.
- [4.29] Fernández Ibáñez, P. "Experience and capabilities of the PSA pilot plant testing", *Cost Action 540 WG2 Meeting, Prague, Czech Republic*, 18-20 abril, 2007.
- [4.30] Fernández Ibáñez, P. "Solar Water Disinfection" en "Summer School CIEMAT-CNRST. Renewable Energies 2007" Rabat, 25-29 June, 2007.
- [4.31] I. Oller, S. Malato, M.I. Maldonado, L.A. Pérez-Estrada, W. Gernjak, M. Vincent, J.A. Muñoz, C. Ramos and T. Tanghe. An advanced strategy for hazardous industrial wastewater treatment: SOLARCADOX®. *Int. Conf. Technologies for Industrial Wastewater treatment and reuse in the Mediterranean region (TIWATMED 2007)*. Jerba, Tunisia, 24-26 May 2007. *Book of Abstract*, 25. Oral.
- [4.32] M.I. Maldonado; W. Gernjak; "Tratamiento de aguas contaminadas con compuestos no biodegradables con energía solar". Capítulo 19 en "Caracterización de la radiación solar como recurso energético". Editorial CIEMAT, Madrid, Spain. 2007; ISBN 978-84-7834-549-6.
- [4.33] Sonia Mañas Carpio, D. Antonio Manuel Romerosa Nieves, Christoph Richter, Sixto Malato. Diseño de fotorreactores solares y su aplicación a la funcionalización de moléculas pequeñas. Editorial CIEMAT, Madrid, Spain. ISBN 978-84-7834-542-7. 307 pag. 2007.
- [4.34] Sixto Malato, Julián Blanco, Diego C. Alarcón, Manuel I. Maldonado, Pilar Fernández-Ibáñez, Wolfgang Gernjak. Photocatalytic Detoxification of water with Solar Energy. In: *Advanced in Solar Energy, an annual review of research and development*, Vol. 17. Y. Goswami (Ed.). Am. Solar Energy Society, Boulder, CO, USA. ISBN 978-1-84407-314-6. pp. 130-168. 2007.
- [4.35] P. Fernández. "Water decontamination, disinfection and desalination with solar energy" Oral com. in the Barcelona Tech Summer Sessions, Univ. Barcelona and Univ. Politecnica de Catalunya. 9-13 July 2007, Barcelona, Spain.
- [4.36] P. Fernández. "Solar Disinfection of Water (Photocatalysis and SODIS)" in the Session "Applications of Solar Energy" Oral com. in *Jornadas Científico Técnicas de Verano*, Univ. Politecnica de Valencia. 17-19 July 2007, Alcoi, Spain.
- [4.37] E. Ubomba-Jaswa, C. Navntoft, C. Sichel, P. Fernández-Ibáñez "Solar disinfection (SODIS) of Escherichia coli K12 contaminated well water in continuous solar reactors " Oral communication. 2nd Int. Congress Smallwat07, Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA), Seville (Spain), 11-15 November 2007.

- [4.38] S. Malato, Manuel I. Maldonado, W. Gernjak, I. Oller, C. Pulgarín. Optimizing solar AOPs treatment strategy. 2nd Int. Conf. on Semiconductor Photochemistry (SP-2). Aberdeen, UK 23-25 July 2007. Book of abstracts, K4. keynote lecture.
- [4.39] W. Gernjak, S. Malato, I. Oller, M.I. Maldonado, L. Pérez Estrada, C. Sirtori, A. Zapata. Combining solar photo-Fenton with biological treatment at demonstration scale. The 12th Intern. Conf. on TiO₂ photocatalysis: fundamentals and applications/The 13th Intern. Conf. on advanced oxidation technologies for treatment of water, air and soil. Niagara Falls (NY), USA. September 24-27, 2007. Book of Abstracts, p. 5-6. Oral.
- [4.40] Carla Sirtori, Ana Agüera, Sixto Malato and Wolfgang Gernjak. Photocatalytic treatment of flumequine using solar radiation. Identification of intermediate products. The 12th Intern. Conf. on TiO₂ photocatalysis: fundamentals and applications/The 13th Intern. Conf. on advanced oxidation technologies for treatment of water, air and soil. Niagara Falls (NY), USA. September 24-27, 2007. Book of Abstracts, p. 17-18. Oral.
- [4.41] M. I. Maldonado, S. Malato, W. Gernjak, P. Fernández-Ibáñez, I. Oller and L. Pérez-Estrada. Treatment of wastewater by Advanced Oxidation Solar Technologies: State of the art and on going projects at European Union. SmallWat07, II Intern. Congress (Wastewater treatment in small communities). Sevilla, Spain. 11-15 Nov. 2007. Book of abstracts p. 288-289. Oral.
- [4.42] J.M. Peralta-Hernández, M.I. Maldonado, Y. Meas-Vong, F. Rodríguez, L.A. Godínez, S. Malato. Aplicación de procesos electroquímicos de oxidación avanzada para la degradación de compuestos orgánicos en efluentes acuosos. Editorial CIEMAT, Madrid, Spain. ISBN 978-84-7834-564-9. 114 pag. 2007.
- [4.43] C. Sichel, M. De Cara, J. Tello, P. Fernández-Ibáñez "Inactivation of phytopathogenic fungi by solar TiO₂ photocatalysis " Poster 2nd Int. Congress Smallwat07, Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA), Seville (Spain), 11-15 November 2007.
- [4.44] C. Navtoft, E. Ubomba-Jaswa, C. Sichel, P. Fernández-Ibáñez "Preliminary design of reactors for enhancement of SODIS, solar disinfection, process" Poster 2nd Int. Congress Smallwat07, Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA), Seville (Spain), 11-15 November 2007.
- [4.45] C. Sichel, C. Navtoft, P. Fernández-Ibáñez "Drinking water disinfection and gallic acid removal with immobilized TiO₂ in solar reactor", Poster communication in the 2nd Int. Conf. on "Semiconductor Photochemistry" (SP-2), The Robert Gordon University, Aberdeen (UK). 23-25 July 2007.
- [4.46] C. Adán, A. Bahamonde, M. Fernández-García, A. Martínez-Arias, S. Malato. Solar photocatalytic degradation of phenol with air and H₂O₂ over nanosized titania and iron-doped titania. 8th European Congress on Catalysis (EUROPACAT VIII).Turku, Finland, 26-31 August 2007. Book of abstracts, p. 17-44. Poster.
- [4.47] C. Sirtori, A. Agüera, S. Malato and W. Gernjak. Treatment of antibiotics used in aquaculture by photocatalytical processes under solar radiation. SmallWat07, II Intern. Congress (Wastewater treatment in small communities). Sevilla, Spain. 11-15 Nov. 2007. Book of abstracts p. 329. Poster.
- [4.48] J. García-Montaña, M.I. Maldonado, J. Peral, F. Torrades and S. Malato. Reactive dyes degradation by solar photo-Fenton and biological processes at pilot plant scale. SmallWat07, II Intern. Congress

- (Wastewater treatment in small communities). Sevilla, Spain. 11-15 Nov. 2007. Book of abstracts p. 310. Poster.
- [4.49] García-Rodríguez, L. y Blanco-Gálvez, J., Solar-heated Rankine cycles for water and electricity production: POWERSOL Project. *Desalination* 212 (2007) 311-318
- [4.50] Portela, R., Sánchez, B., Coronado, J.M., Candal R., Suárez S., Selection of TiO₂-Support: UV-Transparent Alternatives and Long-Term Use Limitations for H₂S Removal". *Catal. Today* 129(1-2) 223-230 (2007).
- [4.51] Portela, R., Sánchez, B. and Coronado, J.M., Photocatalytic oxidation of H₂S on TiO₂ and TiO₂-ZrO₂ thin films", *Journal of Advanced Oxidation Technologies*, 10(2), 375-380.(2007).
- [4.52] Coronado, J.M., Sanchez, B., Fresno, F., Suárez, S. y Portela, R. "Influence of catalysts properties and reactor configuration on the photocatalytic degradation of trichloroethylene under sunlight irradiation", *Journal of Solar Energy Engineering*, 130(1), 011016, (2008).
- [4.53] Salvador, P., Polo, J. Campos, A. y Espinar, B., "Caracterización de los Aerosoles en la PSA a partir de Medidas Espectrales y de Banda Ancha de Radiación Solar", Informe Técnico Ciemat 1095, Noviembre 2006.
- [4.54] Polo, J. Zarzalejo, L.F. Salvador, P. y Ramírez, L., "Angstrom Turbidity and Ozone column estimations from spectral solar irradiance in a semi-desertic environment in Spain", Pendiente de publicación en *Solar Energy*.
- [4.55] Zarzalejo, L.F. Polo, J. Martín, L. Ramírez, L. y Espinar, B. "A new statistical approach for deriving global solar radiation from satellite images", Pendiente de publicación en *Solar Energy*.
- [4.56] Espinar, B. Ramírez, L. Drews, A. Beyer, H.G. Zarzalejo, L.F. Polo, J. y Martín, L., "Análisis of different error parameters applied to solar radiation data from satellite and german radiometric stations" Pendiente de publicación en *Solar Energy*.
- [4.57] F.J. Batlles, L.F. Zarzalejo, S. Rosiek, J. Polo, M. Martínez-Durban, J.L. Bosch, "Estimation of Global daily irradiation in complex topography zones using digital elevation models and Meteosat images: comparison of the results", Pendiente de publicación en *Energy Conversion and Management*.
- [4.58] Polo, J. Zarzalejo, L.F. Ramírez, L., "Solar Radiation Derived from Satellite Images", Chapter 17 del Libro "Advances in Solar Radiation" Capítulo escrito por invitación del Dr. Viorel Badescu para la Editorial Springer-Verlag.

5 Eventos

Diego Martínez Plaza

El año 2007 ha visto la inauguración de dos nuevas instalaciones de I+D en la Plataforma Solar de Almería, el 'contenedor-demostrador de investigación' del proyecto ARFRISOL y el prototipo de colector solar con geometría 'Fresnel lineal', denominado FRESEMO.

5.1 Inauguración del edificio ARFRISOL

El día 13 de diciembre se inauguró un nuevo edificio de oficinas para el personal científico de la PSA, construido como 'contenedor-demostrador de investigación' dentro del Proyecto Singular Estratégico 'ARFRISOL'.

El Secretario de Estado de Universidades e Investigación, D. Miguel Ángel Quintanilla Fisac, descubrió la placa conmemorativa situada en el hall del nuevo edificio en compañía del Director General del CIEMAT, D. Juan Antonio Rubio y otras personalidades.



Figura 5.1 Descubrimiento de la placa conmemorativa

5.2 Inauguración del lazo FRESDEMO

El lazo FRESDEMO es propiedad de la empresa 'Solar Power Group' y ha sido instalado en la PSA para estudiar su comportamiento en condiciones reales de operación solar mediante una colaboración entre la empresa propietaria, el DLR y el CIEMAT.

La instalación fue inaugurada el día 9 de julio, con la asistencia del Director General Adjunto del CIEMAT, Prof. Dr. Cayetano López, el Sr. Michael Möller, Secretario de Estado del Ministerio de Medio Ambiente alemán (BMU) y el Prof. Dr.-Ing. Johann-Dietrich Wörner, presidente de comité director del DLR.



Figura 5.2 Vista del lazo FRESDEMO en la PSA



Figura 5.3 Bienvenida oficial por parte del Director General Adjunto del CIEMAT

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.....	antireflexivo
BRA.....	Brazil
BLG.....	Bulgaria
CA.....	acetato de celulosa
CAM.....	Caja de Ahorros del Mediterráneo
CCP.....	Colectores cilindro-parabólicos
CDTI.....	Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial
.....	
CE.....	Comisión Europea
CENIM.....	Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas
CH.....	Suiza
CIEMAT....	Centro de investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas
CIESOL....	Centro para la Investigación de la Energía Solar
CNRST....	National Centre for Scientific and Technical Research (MA)
COEXPHAL	Asociación Provincial de Empresarios de Productos Hortofrutícolas de Almería
COT.....	carbono orgánico total
COVs.....	compuestos orgánicos volátiles
CPC.....	captadores cilindroparabólico compuestos
CRS.....	Central receiver system
CSIR.....	Council for Scientific and Industrial Research (ZA)
CSIC.....	Consejo Superior de Investigación Científica
CSP+D.....	procesos de desalinización de agua en plantas solares de potencia
D.....	Alemania
DBO.....	demanda biológica de oxígeno
DG TREN..	Directorate-General for Transport and Energy
DISS.....	Direct Solar Steam
DLR.....	Instituto de Investigación Aeroespacial Alemán
DQO.....	demanda química de oxígeno
DRX.....	difracción de rayos X
DZ.....	Argelia

E	España
EAWAG.....	Instituto Suizo de Ciencias Acuáticas
EDAR	Estación depuradora de aguas residuales
EGY	Egipto
ENIT	Ecole Nationale d' Ingénieurs de Tunis
ETHZ	Instituto Federal Suizo de Tecnología Zurich (CH)
F	Francia
GACS	Grupo de Alta Concentración Solar (PSA)
GDV.....	generación directa de vapor
GGII	Grandes Infraestructuras Científicas Nacionales
GLP.....	gas licuado del petróleo
HPLC.....	High performance liquid chromatography
I.....	Italia
ICP-AES	Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry
ICP-CSIC	Instituto de Catalysis y Petroleoquímica
ICROSS....	International Community for Relief of Starvation and Suffering (Kenya)
ICV-CSIC	Instituto de Cerámica y Vidrio
IL	Israel
INCO.....	Actividades específicas de Cooperación Internacional
INNOHYP- CA	Innovative high temperature routes for Hydrogen Production – Coordinated Action
INETI	Instituto Nacional de Engenharia, Tecnología e Inovação (P)
INTA	Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial
IR.....	infrarroja
IR.....	Irlanda
IrSOLaV ...	Investigaciones y Recursos Solares Avanzados, S.L.,
ISES	Sociedad Internacional de la Energía Solar
IWSD	Institution of Water and Sanitation Development (ZW)
LECE	Laboratorio de Ensayo Energéticos de Componentes de Edificación (CIEMAT)
MCM	mobile crystalline material
MICYT	Ministerio de Industria, Comercio y Turismo
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
NTU	unidades nefelométricas de turbidez
ORC.....	Ciclo Orgánico de Rankine
P	Portugal
PEG	polietilenglicol
PET.....	tereftalato de polietileno
PIIC.....	Proyectos de Investigación Industrial Concertada (CDTI)
PM.....	Programa marco (CE)

PROFIT.....	Programa de Fomento de la Investigación Técnica
PS10	Planta Solar 10)
PSA	Plataforma Solar de Almería
PYME	Pequeña y Mediana Empresa
PVDSA	Petróleos de Venezuela, S.A.
RC.....	receptor central
RCH.....	República de Chile
RCSI.....	Royal College of Surgeons Ireland
RD.....	Real Decreto
S.....	Suecia
SBR	sequence batch reactor
SEM.....	microscopio electrónico de barrido
SHS	síntesis de auto-propagación a alta temperatura
SODIS.....	solar disinfection
SolarPACES	Solar Power And Chemical Energy Systems (IEA)
SolLAB	Laboratorio Asociado Europeo de Energía Solar
SSC.....	Unidad de Sistemas Solares de Concentración
STC	Stobbe Tech Ceramics A/S
STS	sólidos totales en suspensión
SYNPET	syngas de petróleo
TGA	análisis termogravimétrico
TOC.....	carbono orgánico total
TRC	torre de receptor central
TRH	tiempo de retención hidráulico
TUN	Túnez
UAH.....	Universidad de Alcalá
UAL	Universidad de Almería
UAM	Universidad Autónoma de Madrid
UCM	Universidad Complutense de Madrid
UE.....	Unión Europea
UENF	Universidade Estadual do Norte Fluminense (BRA)
UK.....	Reino Unido
UL	University of Leicester
UNED.....	Universidad Nacional de Educación a Distancia
URJC.....	Universidad Rey Juan Carlos
USACH.....	Universidad de Santiago de Chile
USCS	Unidad de Sistemas de Concentración Solar
UU.....	Universidad de Ulster (UK)
UNED.....	Universidad Nacional de Educación a Distancia
USC.....	Universidad de Santiago de Compostela
UV.....	ultravioleta
WP	Paquete de trabajo
ZA.....	África del Sur
ZSW	Zentrum für Sonnenenergie und Wasserstoff Forschung (D)
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