Plataforma
Solar de
Almería

INFORME BIANUAL 2008-2009

-

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN

Ciemat
Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas

ÍNDICE

1 Presentación General 9
1.1 La PSA como gran instalación solar: Datos generales 9
1.2 Estructura Funcional 10
1.3 Recursos Económicos y Humanos 11
1.4 Entorno de Colaboración 12
1.5 Actividades de Formación 13
1.6 Actividades de Acceso a la PSA 15
1.6.1 Acceso Nacional 15
2 Instalaciones e infraestructuras 17
2.1 Descripción General de la PSA 17
2.2 Instalaciones de Receptor Central: CESA-1 y CRS 18
2.2.1 La instalación CESA-I de 7 MWt 18
2.2.2 La instalación SSPS-CRS de 2,7 MWT 20
2.3 Instalaciones con Concentradores de Foco Lineal: DISS, HTF, Lazo para Fluidos Innovadores y FRESDEMO 21
2.3.1 La planta experimental DISS 22
2.3.2 El lazo de ensayos HTF 23
2.3.3 Lazo de ensayos para fluidos innovadores 24
2.4 El lazo FRESDEMO 26
2.5 Sistemas Disco-Stirling: DISTAL y EURODISH 27
2.5.1 Fundamentos 27
2.5.2 DISTAL I 28
2.5.3 DISTAL II 28
2.5.4 EURODISH 29
2.6 El Horno Solar 29
2.6.1 Descripción General y Principio de Funcionamiento 29
2.6.2 Componentes 30
2.6.3 Laboratorio de Materiales 31
2.7 Instalaciones de Detoxificación y Desinfección Solar 32
2.8 Laboratorio de Análisis de la PSA 34
2.9 Instalación de desalación solar mediante destilacion MED 35
2.10 Plataforma de Ensayo para Módulos de Destilación por Membranas 35
2.11 Instalación ORC solar 37
2.12 Plataforma de Ensayo de Captadores Solares Estáticos 38
2.13 Laboratorio de Aplicaciones Ambientales de la Radiación Solar en Aire 39
2.14 Laboratorio de Envejecimiento Acelerado y Durabilidad de Materiales. 40
2.15 Laboratorio de Radiometría de la PSA 42
2.16 Otras Instalaciones 43
2.16.1 Estación Meteorológica de la PSA 43
2.16.2 El laboratorio de calibración espectral 46
2.16.3 Laboratorio de Ensayos Energéticos para Componentes de la Edificación (LECE) 46
2.16.4 El Edificio Arfrisol 47
2.17 Plan 'E' 48
2.17.1 Acciones relacionadas con las instalaciones experimentales 49
2.17.2 Acciones relacionadas con las infraestructuras generales y obra civil 54

3 Unidad de Sistemas de Concentración Solar 57
3.1 Introducción 57
3.2 Grupo de Media Concentración 59
3.2.1 DISTOR – Energy Storage for Direct Steam Solar Power Plants 60
3.2.2 Almería GDV- Puertollano GDV: Planta solar termoeléctrica pre-comercial con Generación Directa de Vapor 62
3.2.3 Recubrimientos selectivos por Solgel para tubos absorbedores 64
3.2.4 CAPSOL - Captador solar cilindroparabólico para aplicaciones térmicas hasta 250ºC 68
3.2.5 Fluidos de trabajo innovadores para Colectores Cilindro Parabólicos 71
3.2.6 Caracterización y análisis de durabilidad de reflectores solares. 74
3.2.7 Almacenamiento térmico para plantas solares termoeléctricas 75
3.2.8 Otras actividades del Grupo de Media Concentración en 2008 y 2009 78
3.3 Grupo de Alta Concentración 79
3.3.1 Proyecto "SOLAR TRES: Molten Salt Solar Thermal Power 15 MW_e Demonstration Plant" 80
3.3.2 Desarrollo del receptor para una central solar termoeléctrica de sales fundidas. 83
3.3.3 Investigación, Innovación y Desarrollos para la planta de torre central Gemasolar 85
3.3.4 SolHyCo (SOLar HYbrid power and COgeneration plants) 85
3.3.5 CENIT-CONSOLIDA: Estudio de la situación tecnológica actual y necesidad de I+D en sistemas de concentración solar (Actividad 2) 88
3.3.6 CENIT-CONSOLIDA: I+D para la mejora de componentes clave en la tecnología CRS (Actividad 3). 89
3.3.7 Actividades en el Laboratorio de Radiometría 90
3.3.8 Actividades sobre el Envejecimiento Acelerado y Durabilidad de Materiales. 92
3.3.9 Otras actividades del Grupo de Alta Concentración en 2008 y 2009 94
3.4 Grupo de Hidrógeno Solar y Solarización de Procesos Industriales 95
3.4.1 Producción de hidrógeno 96
3.4.2 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 107
3.5 Referencias 110
4 Unidad de Aplicaciones Medioambientales de la Energía Solar. 115
4.1 Introducción 115
4.2 Grupo de Detoxificación y Desinfección de Aguas 117
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 118

4.2.2 PhotoNanoTech Aplicación de nanopartículas de fotocimas para purificación de agua, acabados de tejidos, biomineralización fotodinámica y recubrimiento de biomateriales 121
4.2.3 INNOWATECH Tecnologías innovadoras e integradas para el tratamiento de aguas residuales industriales. http://www.innowatech.org 123
4.2.4 SODISWATER Desinfección solar de agua potable para países en vías de desarrollo o en situaciones de emergencia..... 126
4.2.5 FITOSOL 129
4.2.6 Plan Nacional de Acceso a la PSA 132
4.2.7 INNOVA-MED Innovative processes and practices for wastewater treatment and re-use in the Mediterranean Region 138
4.3 Grupo de Detoxificación en Aire..... 140
4.3.1 DETOX-H2S Desarrollo de nuevos sistemas de eliminación de compuestos tóxicos y corrosivos en aire generados en depuradoras de aguas residuales. 140
4.3.2 IndoorAir..... 142
4.3.3 NANOTITAN 144
4.3.4 Desarrollo de fotocatalizadores híbridos para la eliminación de COVs en corrientes gaseosas 146
4.4 Grupo de desalación solar..... 148
4.4.1 Proyecto Osmosol Desalación por ósmosis inversa mediante energía solar térmica..... 148
4.4.2 Proyecto Powersol Generación de energía mecánica basada en motores solares térmicos 150
4.4.3 Proyecto Medesol Desalación de agua de mar mediante sistemas solares de destilación por membranas 151
4.4.4 Proyecto Mediodia Multiplicación de esfuerzos para el desarrollo, innovación, optimización y diseño de invernaderos avanzados 153
4.4.5 Proyecto Prodes Desalación de agua de mar mediante sistemas solares de destilación por membranas 156
4.4.6 Proyecto Consolida Consorcio solar de I+D 157
4.4.7 Proyecto Hispamed Sistema de destilación multiefecto con energía solar térmica 158
4.4.8 Taller Aplicaciones Medioambientales Aplicación de tecnologias solares a problemas ambientales 159
4.4.9 Banco De Ensayos Csp+D (Proyecto Solarnova) Integración de sistemas de desalación térmica MED en plantas termosolares 160
4.5 Referencias 161
5 Eventos 173
6 Lista de Acrónimos 177

Mensaje del Director

Diego Martínez Plaza

Si hay un hecho que ha marcado el pasado año 2009 ha sido la puesta en marcha del 'Plan E' para la mejora de nuestras instalaciones.

Ha sido tal el impacto que, incluso, nos ha obligado a posponer la edición del informe anual correspondiente al año 2008 para presentarlo ahora, conjuntamente con el de 2009 en este libro.

Gracias a esta importante inyección de 10 M€ hemos podido abordar una mejora de nuestro Centro desde dos puntos de vista:

- Primero, hemos podido dotarnos de los equipamientos necesarios para abordar aquellas nuevas líneas de I+D que ya habíamos identificado como interesantes y casi obligadas para continuar en la primera línea de la I+D. Por ejemplo, las investigaciones acerca del uso de las sales fundidas como medio de almacenamiento para la energía térmica capturada con los campos de colectores solares, o los estudios para optimizar el acoplamiento entre una planta solar termoeléctrica y una planta desalinizadora de agua que aprovecharía el calor sobrante de la primera para producir agua potable.
- Segundo, hemos podido acometer importantes mejoras en las infraestructuras generales. No hay que olvidar que nuestro Centro se aproxima ya a los 30 años de antigüedad y hay que mantener un esfuerzo constante para combatir el deterioro de edificios, carreteras internas y demás. Aparte de eso, estamos creciendo en personal, en colaboraciones, y otras instalaciones, lo que implica la necesidad de dotarnos de más edificios y espacios de trabajo.

El 'Plan E' concluirá en unos pocos meses, pero el proyecto 'SolarNOVA' dotado con fondos del programa FEDER tomará el relevo y nos permitirá continuar con el esfuerzo de remodelar y completar nuestras instalaciones hasta diciembre del año 2012.

A partir de la promulgación del R.D. 661/2007 para regular el régimen especial de producción eléctrica a partir de fuentes de energía renovable, la tecnología solar termoeléctrica cuenta como una de las principales bazas de nuestro país para reducir la dependencia energética del exterior y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, aspectos ambos en los que hace falta un esfuerzo de nuestro país para mejorar la situación actual.

A pesar de algunos 'sustos' que han sacudido al sector durante el pasado 2009, finalmente se ha autorizado la construcción de plantas comerciales con derecho a la 'prima de producción' por un total acumulado de 2.339 MW eléctricos. Quien nos lo iba a decir hace diez años.

En este escenario, nuestro Centro se ha consolidado como el referente internacional para las actividades de I+D y de demostración de esta tecnología, siendo cada vez más numerosas las peticiones de colaboración por parte de la industria.

En otro orden de cosas, quiero decir que la tradicional colaboración con el DLR goza de buena salud, estimulada por nuevas líneas de colaboración que han venido surgiendo a requerimiento de la industria solar y que están relacionadas básicamente con la caracterización de los diversos componentes de los colectores solares: espejos, materiales absorbentes, colectores completos, etc…

La colaboración con los demás centros de I+D solar en Europa se ha visto también reforzada gracias a la consecución del proyecto europeo 'SFERA' (Solar Facilities for the European Research Area). Se trata de una 'Integrated Initiative' del FP7, coordinada por el CIEMAT, en la que además participan el DLR, PROMES-CNRS (Odeillo), Paul Scherrer Institut, Escuela Politécnica de Zürich (ETHZ), Weizmann Institute y ENEA. El principal objetivo de este proyecto es avanzar hacia una mayor coordinación de los esfuerzos de investigación llevados a cabo por todos estos institutos en el campo solar, optimizando recursos, fomentando el intercambio de personal científico y además poniendo a disposición de la comunidad científica europea las instalaciones de ensayo.

El último párrafo de este mensaje tiene que ser necesariamente para recordar, brevemente pero con cariño, a Juan Antonio Rubio, Director General del CIEMAT recientemente fallecido a la hora de escribir estas líneas.

Juan Antonio apoyó siempre a este Centro, desde el principio y sin condiciones, y me consta que siempre que tenía oportunidad proclamaba a los cuatro vientos con todo su orgullo que '*la PSA era una joyita del CIEMAT'.* Continuaremos con nuestro trabajo para demostrar que estaba en lo cierto.

Descanse en paz.

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.

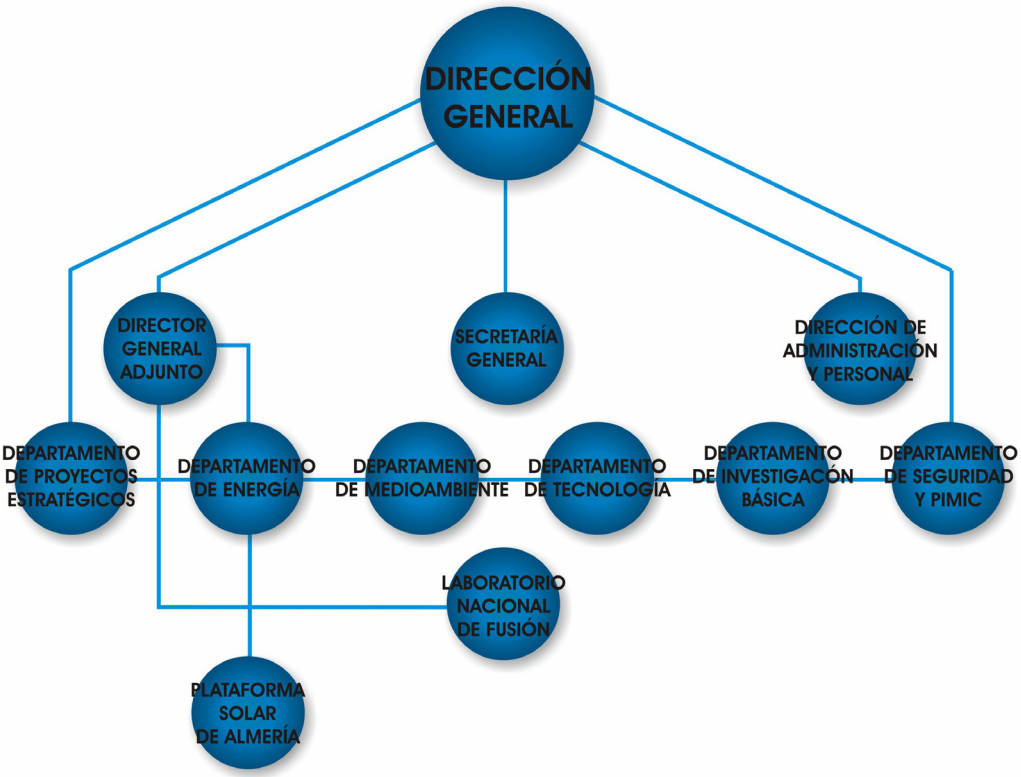


Figure 1.1. Integración de la PSA en la estructura orgánica del CIEMAT

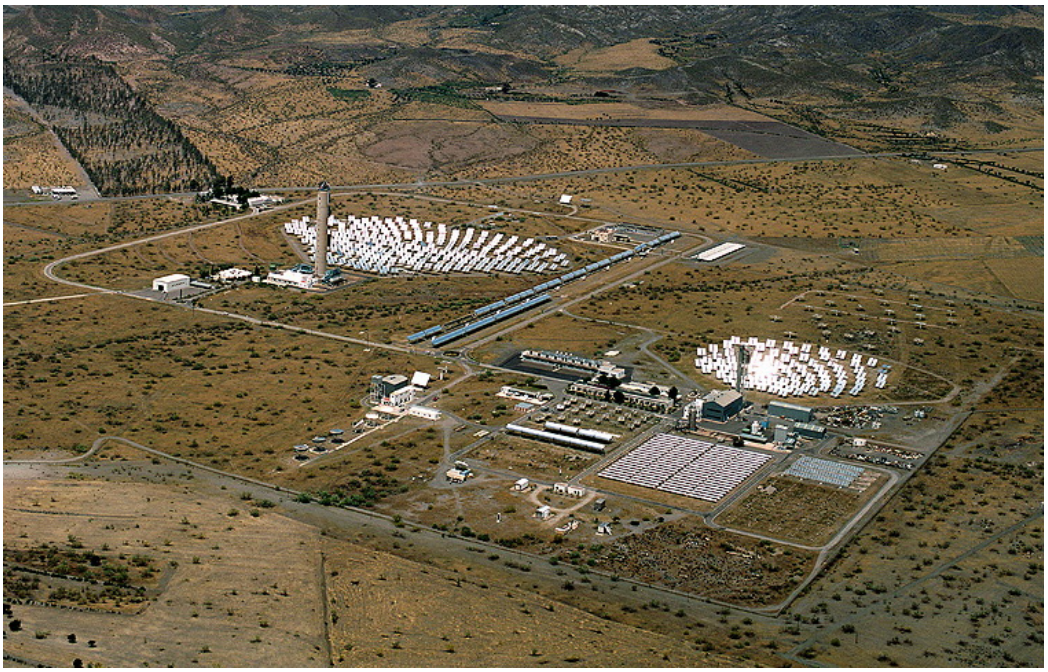


Figure 1.2. Vista aérea de la Plataforma Solar de Almería

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

Desde el año 2004, la actividad investigadora que se lleva a cabo en la Plataforma Solar de Almería está estructurada en torno a dos Unidades de I+D:

- Unidad de Sistemas Solares de Concentración.
- Unidad de Aplicaciones Medioambientales de la Energía Solar

La primera de estas Unidades de I+D está dedicada al estudio y desarrollo de nuevas y más eficientes tecnologías para producir electricidad por medios termosolares, mientras que la segunda de ellas tiene por objeto explorar las posibles aplicaciones 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 123 personas que constituye a diciembre de 2009 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 123 personas que diariamente desarrollan su trabajo en la PSA, 64 son personal de CIEMAT, 17 de ellos ubicados en la sede de Madrid. Además, hay que considerar la aportación del colectivo de 9 personas que constituyen la delegación permanente que el Instituto de Investigación Aeroespacial (DLR) tiene en la PSA a través de los actuales compromisos adquiridos mediante el 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 contratas de operación, mantenimiento y limpieza de las distintas instalaciones. Son 32 personas que se distribuyen en 15 personas del servicio de operación y 14 para servicios de mantenimiento y 5 para limpieza. Por otro lado, la contrata

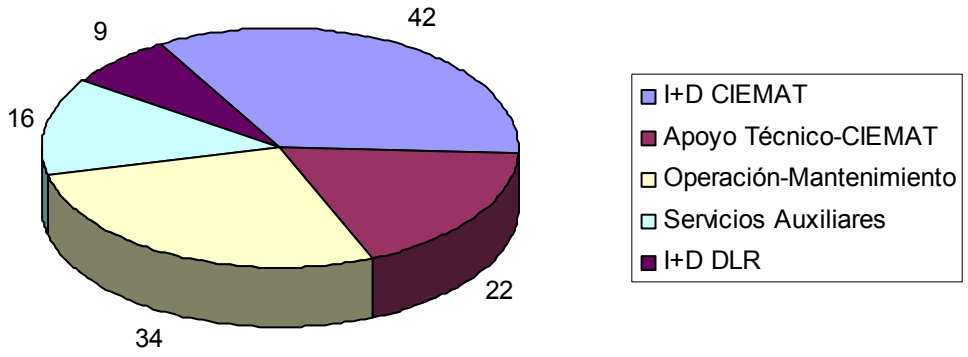


Figure 1.3. Distribución del personal que desarrolla su actividad en la PSA de forma permanente a Diciembre de 2009

de servicios auxiliares están formadas por 8 administrativos y secretarias, más 3 técnicos de servicio a usuarios de informática. Los servicios de la contrata de seguridad los proporcionan otras 5 personas.

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, bien a través de proyectos financiados por la Comisión Europea, bien a través del Plan Nacional de I+D+i. Aunque el factor de más peso ha sido el incremento de ingresos mediante la realización de actividades de investigación bajo contrato con empresas.

La contribución de CIEMAT se vio incrementada en estos dos años con el fin de acometer las actividades aprobadas dentro del Plan de Mejora de Infraestructuras de la PSA 2006-2009. Este plan ha estado dedicado a mejoras de envergadura que eran necesarias en las principales infraestructuras: edificios, campos de helióstatos, etc.

El presupuesto de la PSA alcanzó en el año 2008 los 8,1 millones de Euros (no se incluyen en este presupuesto los costes de personal de I+D) y en 2009 fue de 8,5 millones de Euros.

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 VI de dicho Convenio, que recoge el compromiso de mantener una delegación permanente de DLR en la PSA durante los años 2009 a 2011.

Con todo, el entorno de colaboración en que se mueve la PSA es notablemente amplio. En el ámbito internacional, la PSA participa activamente en 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, Corea del Sur, Austria y Egipto).

Por otro lado, la PSA-CIEMAT es miembro fundador del 'Laboratorio Asociado Europeo de Energía Solar' (SolLAB). Este laboratorio virtual está constituido por los principales institutos europeos de investigación en energía solar concentrada, es decir: el PROMES-CNRS de Odeillo (Francia), la división de energía solar del DLR en Colonia (Alemania), el laboratorio de energías renovables del Instituto Tecnológico Federal de Zürich (Suiza), el Paul Scherrer Institut (Suiza) y el propio CIEMAT.

Con respecto a las actividades de formación, se cuenta con un convenio de referencia con la Universidad de Almería (UAL) para la gestión conjunta de un programa de becas y además se suscriben acuerdos educacionales 'ad hoc' 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, cada año se viene impartiendo el '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.

Figure 1.4. Foto del edificio 'CIESOL' en el Campus de La Cañada

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.

Recientemente, la Junta de Andalucía ha promovido la creación de un nuevo centro de I+D denominado 'Centro Tecnológico Avanzado de Energías Renovables' (CTAER). La forma jurídica elegida para el CTAER es la de fundación y el CIEMAT es uno de los patronos de la misma. Este nuevo centro cuenta con tres sedes, la principal de las cuales se dedicará a la energía solar y se encuentra ubicada en los terrenos adyacentes a los de la PSA, en el término municipal de Tabernas. Se prevé que haya una sinergia entre ambos centros, PSA y CTAER, que contribuya al establecimiento del centro para la investigación en energía solar más importante del mundo.

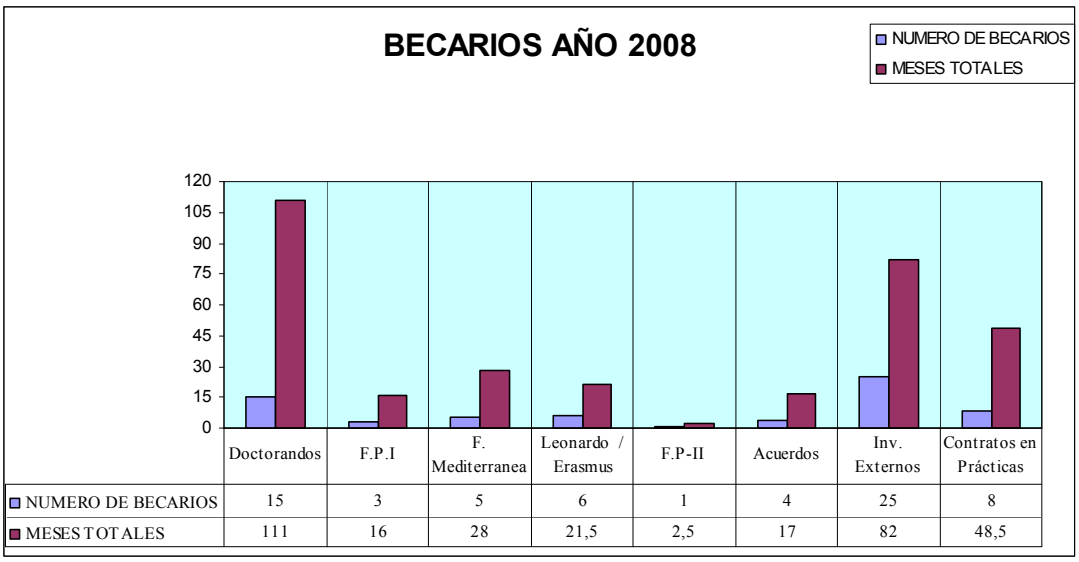
Aparte de todas estas colaboraciones de carácter institucional, hay que reseñar que cada una de las dos Unidades de I+D mantiene un abanico estable de colaboraciones que abarcan a universidades, PYMEs y grandes compañías, tanto nacionales como internacionales.

Particularmente intensa es la cooperación con las principales compañías nacionales 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 o ACCIONA.

Hay que decir también que cada vez se colabora más con entidades del entorno más cercano, valgan como ejemplo empresas como DERETIL, CAJAMAR o COHEXPAL que son referencias de primer nivel en la provincia de Almería.

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.



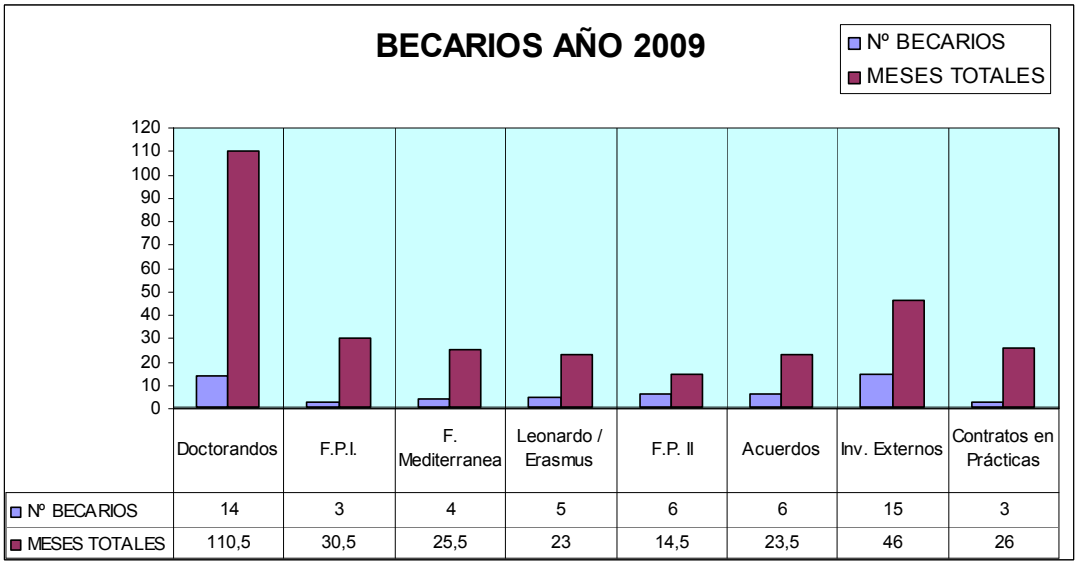
	Doctorandos	F.P.I	F. Mediterranea	Leonardo / Erasmus	F.P-II	Acuerdos	Inv. Externos	Contratos en Prácticas
NUMERO DE BECARIOS	15	3	5	6	1	4	25	8
MESES TOTALES	111	16	28	21,5	2,5	17	82	48,5

Figure 1.5. Becarios año 2008

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 más de veinticinco años de realización de experiencias.

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

- Gestión del programa de becas de doctorado asociado al convenio anual suscrito con la Universidad de Almería (UAL).
- Gestión del programa de becas de prácticas asociado al convenio anual suscrito 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.



	Doctorandos	F.P.I.	F. Mediterranea	Leonardo / Erasmus	F.P. II	Acuerdos	Inv. Externos	Contratos en Prácticas
Nº BECARIOS	14	3	4	5	6	6	15	3
MESES TOTALES	110,5	30,5	25,5	23	14,5	23,5	46	26

Figure 1.6. Becarios año 2009

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 actividades conjuntas realizadas habitualmente en el ámbito de SolLAB es la celebración con frecuencia anual de un seminario para los estudiantes de doctorado (Doctoral Colloquium) de las cinco instituciones. Durante los días 10 al 12 de septiembre de 2008 tuvo lugar la cuarta edición de este seminario, organizado en esa ocasión por la PSA. La quinta edición ha tenido lugar en Colonia (Alemania), durante los días 22 a 24 de junio de 2009.

Figure 1.7. Asistentes al seminario celebrado en Ameria, en septiembre de 2008

Figure 1.8. Asistentes al seminario celebrado en Colonia (Alemania) en junio de 2009

1.6 Actividades de Acceso a la PSA

1.6.1 Acceso Nacional

El Plan Nacional de I+D impulsa desde el año 2005 una línea de actividad destinada a promocionar las grandes instalaciones científico-tecnológicas singulares (ICTS) nacionales. Esta línea, gestionada por la Dirección General de Cooperación Internacional y Relaciones Institucionales, del Ministerio de Ciencia e Innovación, 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.

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 todas las convocatorias anuales que este programa nacional de acceso y mejora ha emitido desde el año 2005 hasta la actualidad.

Durante el año 2008 un total de 14 investigadores se han beneficiado de este programa, disfrutando de un total de 51 semanas de libre acceso a las diferentes instalaciones de ensayo existentes en la PSA.

La actividad durante el año 2009 ha sido algo menor, con 14 investigadores , pero disfrutando de libre acceso durante un total de solo 32 semanas de uso de instalaciones.

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 37º 05' 27,8'' Latitud Norte y 2º 21' 19'' Longitud Oeste. Recibe una insolación directa anual por encima de los 1.900 kWh/(m^2·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 desalinización de agua.
- El lazo de ensayos DISS de 1,8 MWt, que constituye un excelente sis-

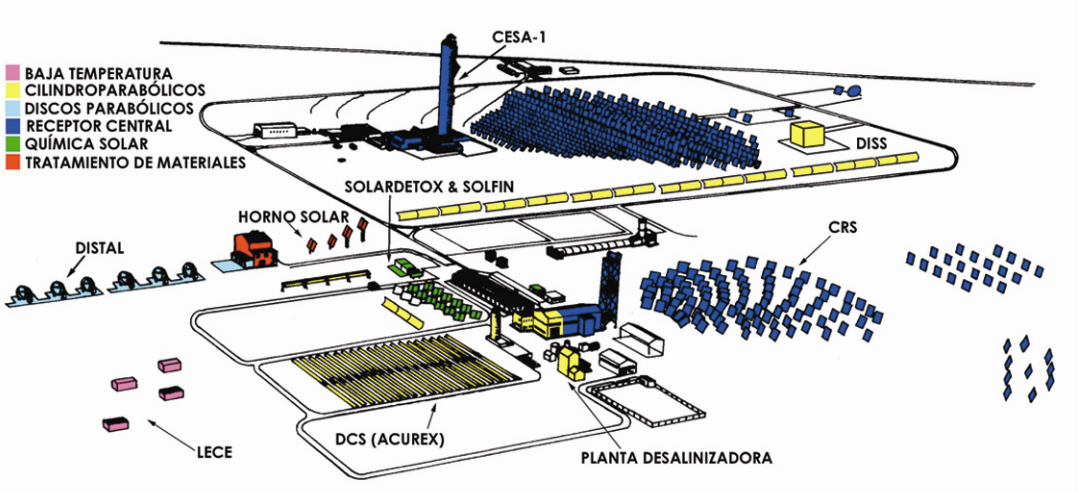


Figura 2.1.Ubicación de las principales instalaciones de ensayo de la PSA

tema experimental para la investigación del flujo bifásico y la generación directa de vapor para producción de electricidad.
- El lazo de ensayos HTF, dotado de un completo circuito de aceite que permite la evaluación de nuevos componentes para colectores cilindro-parabólicos.
- 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 meteorological 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 MWt

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 m^2 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 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.
- Una instalación de ensayo multipropósito para nuevos conceptos de re-

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

ceptor, en la cota de 75 m.
- La instalación de ensayo de receptores volumétricos atmosféricos en la parte superior de la torre, a la cota de 80 m.

La torre se completa con una grúa en la parte superior con 5 toneladas de capacidad y un elevador montacargas con capacidad para 1.000 kg.

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 fué concebida como planta de demostración para la producción continuada 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 fabricadas por la compañía Martin-Marietta, de 39,3 m^2 de superficie cada una. Existe un segundo campo con 20 helióstatos de 52 m^2 y 65 m^2 en la zona norte que puede también ser utilizado como apoyo, en este caso son helióstatos de segunda generación fabricados por MBB y Asinel.

El campo de helióstatos CRS ha sido recientemente mejorado con la conversión de todos sus helióstatos en unidades autónomas, comunicadas por radio con el control central 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, a través de 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/m^2, la potencia térmica total del campo asciende a 2,7 MW y se obtiene un flujo pico de 2,5 MW/m^2. 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 termoquímicas.

La segunda plataforma de ensayo se encuentra en lo alto de la torre, a 43 m de altura, y alberga un recinto cerrado

Figura 2.3. Un helióstato autónomo del campo CRS

con puente grúa y un banco de ensayos calorimétrico para la evaluación de pequeños receptores volumétricos a presión atmosférica.

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

El banco de ensayos calorimétrico 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 caracaterización del mapa de flujo de la 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.

Figura 2.4.Vista aerea del sistema CRS.

Luego de un tratamiento exhaustivo de la misma, se puede integrar la potencia total, así como realizar el cálculo del resto de las magnitudes de interés, tales como el pico de flujo o parámetros estadísticos de la distribución de energía sobre el receptor.

2.3 Instalaciones con Concentradores de Foco Lineal: DISS, HTF, Lazo para Fluidos Innovadores y FRESDEMO

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 de 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/400ºC) en los tubos absorbedores de colectores cilindro-parabólicos.

La planta DISS es la primera instalación construida 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 posibles aplicaciones de esta planta son: el estudio de los coeficientes de transferencia de calor en tubos horizontales por cuyo interior circula un flujo bifásico agua/vapor, y el ensayo de componentes para campos solares de colectores cilindro-parabólicos con generación directa de vapor en sus tubos absorbedores.

La planta DISS consta de dos subsistemas: el Campo Solar con colectores cilindro-parabólicos, y el Sistema de Potencia.

En el Campo Solar, el agua de alimentación es precalentada, evaporada y convertida en vapor sobrecalentado conforme circula por los tubos absorbedores de una fila de colectores cilindro-parabólicos de 665 m de longitud y 3.838 m^2 de superficie de captación solar. El caudal nominal de vapor sobrecalentado que puede producir el sistema es de 1 kg/s

El Sistema de Potencia 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

Figura 2.5.Lazo DISS en operación

100 bar.) Además, está dotada de una completa gama de instrumentos que permiten una total monitorización del sistema.

La figura 2.6 muestra el esquema simplificado de la planta DISS.

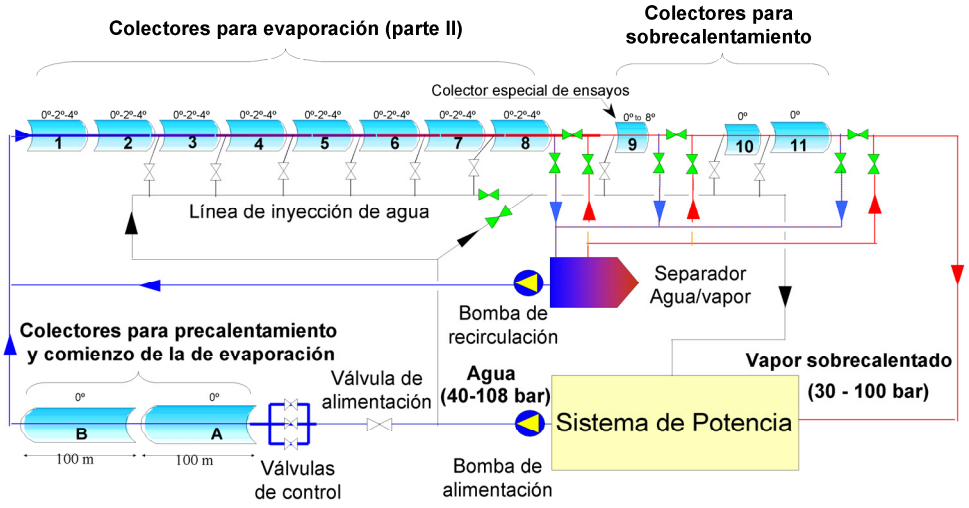


Figura 2.6.Esquema simplificado del lazo DISS existente en la PSA

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 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, partiendo de un colector del tipo LS-3 y constituye una instalación idónea para evaluar, en condiciones reales de operación con energía solar, componentes para colectores cilindro-parabólicos. Espejos, tubos absorbedores, sistemas de seguimiento solar, etc., pueden ser instalados y evaluados en esta instalación, que cuenta con los dispositivos de medida y monitorización adecuados para ello

La instalación original constaba de un circuito cerrado de aceite térmico conectado a un colector solar formado por 4 módulos cilindro-parabólicos del tipo LS-3, de 12 m de longitud y 5,7 m de anchura, con una superficie total de captación solar de 274 m^2. El aceite térmico usado en esta instalación (Syltherm 800) tiene una temperatura máxima de trabajo de 420ºC, y un punto de congelación de –40ºC. El colector solar tiene su eje de rotación orientado en dirección Este-Oeste, lo que permite aumentar el número de

Figura 2.7.Vista general del lazo HTF

horas al año en las que el ángulo de incidencia de la radiación solar es menor de 5º.

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 1m^3 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 150ºC – 425ºC.

Una vez concluido el proyecto EUROTROUGH, los socios participantes en dicho proyecto cedieron 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 m^2.

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 ru-

tinaria, 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 el uso de 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 cuyas posibilidades no han sido exploradas aún. Las actividades dentro de este proyecto están dirigidas por el premio Nobel de Física, profesor Carlo Rubbia.

Figura 2.8. Vista del lazo de ensayos para fluidos innovadores en operación.

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.

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 encuentran dentro de la sala de control de la planta DISS. Las actividades de esta instalación dieron comienzo a finales del año 2007.

La instalación está preparada para trabajar a presiones y temperaturas de hasta 100 bares y 400ºC, 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 m^2 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 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.

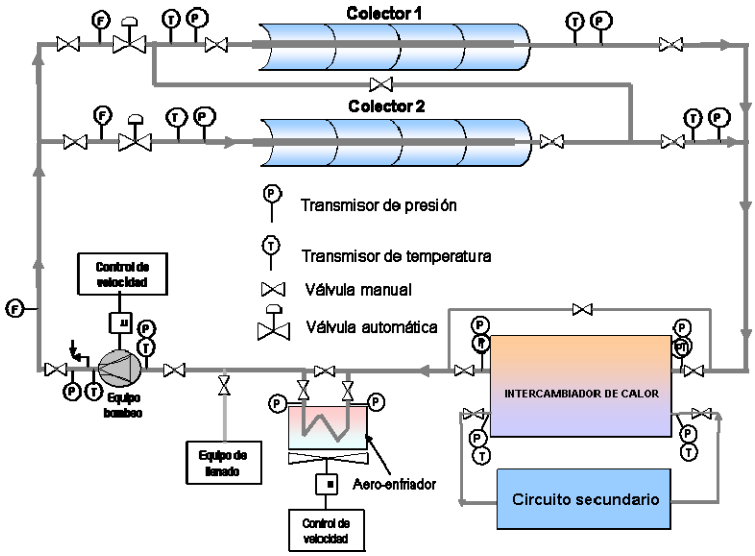


Figura 2.9.Esquema simplificado de la instalación experimental para fluidos innovadores.

- 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.

2.4 El lazo FRESDEMO

El lazo FRESDEMO es una planta piloto para la demostración de la tecnología de concentración solar denominada 'Concentrador Lineal' Fresnel. Esta planta experimental pertenece actualmente al CIEMAT, ya que por acuerdo con el grupo empresarial 'Solar Power Group', y la compañía MAN Ferrostaal, su propiedad fue cedida al CIEMAT tras la finalización de la Fase I del proyecto FRESDEMO. No obstante, el CIEMAT sigue poniendo esta planta a disposición de Solar Power Group y Man Ferrostaal para la ejecución de la segunda fase del proyecto FRESDEMO, llevándose a cabo nuevos ensayos 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 m^2. Esta superficie de espejo se distribuye en 1.200 facetas que están montadas sobre 25 filas paralelas que abarcan toda la longitud del lazo. Este lazo colector está diseñado para la producción directa de vapor a una presión máxima de 100 bar y una temperatura máxima de 450ºC.

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.

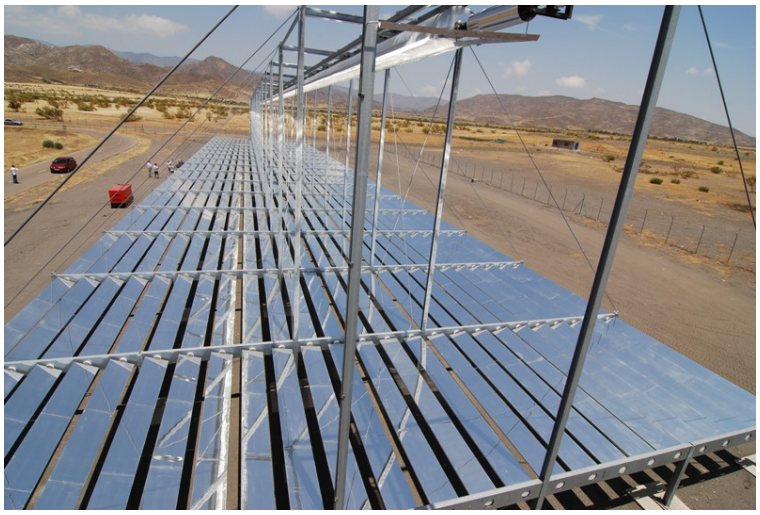


Figura 2.10. Foto del collector de demostración Fresnel lineal MAN instalado en la Plataforma Solar de Almería (PSA).

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 kilowatios donde aspiraría a competir con sistemas ya comerciales como los fotovoltaicos o los generadores diesel.

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

2.5.2 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.

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

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.

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.

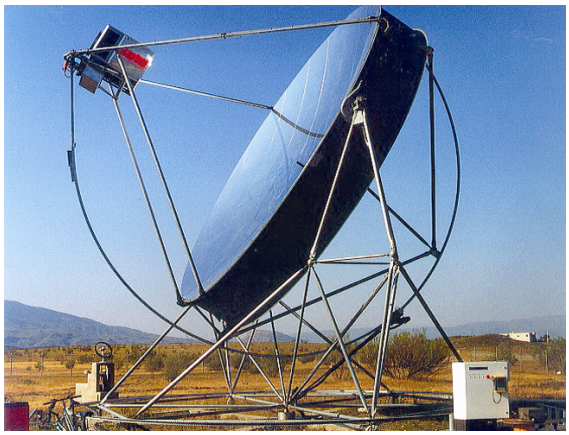


Figura 2.12. Unidad DISTAL II

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

2.5.4 EURODISH

Dentro del proyecto hispano-alemán 'EuroDISH' se diseñaron y construyeron dos nuevos prototipos de disco parabólico con motor Stirling, en los cuales se pretendía actuar sobre los siguientes aspectos:

- 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, abandonando la tecnología de membrana tensionada para utilizar en su lugar 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.

Figura 2.13. EuroDISH vista desde delante y detrás

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 en vacío, y experimentos de química solar mediante receptores asociados a reactores químicos.

Constan esencialmente de un helióstato plano que realiza seguimiento solar continuo, un espejo parabólico concentrador, un atenuador o persiana y la

zona de ensayos situada en el foco del concentrador [Martínez y Rodríguez, 1998].

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

2.6.2 Componentes

El elemento que capta la radiación solar y la envía hacia el concentrador parabólico es el campo de helióstatos. Los helióstatos están formados por una superficie reflectiva compuesta por múltiples facetas planas –no concentradoras- que reflejan los rayos solares horizontales y paralelos al eje óptico del concentrador y hacen seguimiento continuo del disco solar.

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

Los helióstatos constan de 16 facetas de tipo sandwich de 3,35 m^2, lo que da un total de 53,58 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 helióstato, multiplicando la energía radiante en la zona focal. Sus propiedades ópticas afectan especialmente a la distribución de flujo en el foco.

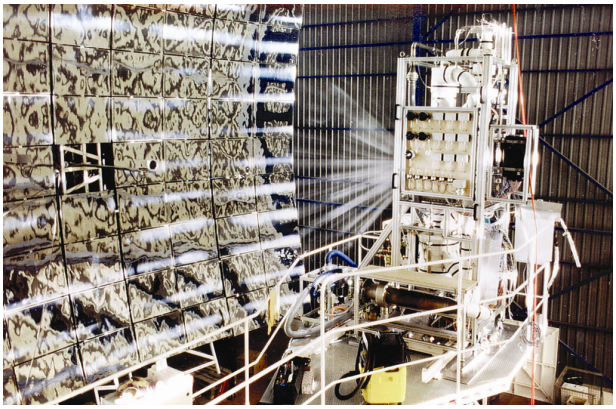


Figura 2.14. Disco concentrador del Horno Solar (izquierda) y receptor en operación dentro de la zona focal (derecha).

Está compuesto por 89 facetas esféricas con un total de 98,5 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.

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

La mesa de ensayos es un soporte móvil para las probetas o prototipos a ensayar y está situado bajo el foco del concentrador. Tiene movimiento en

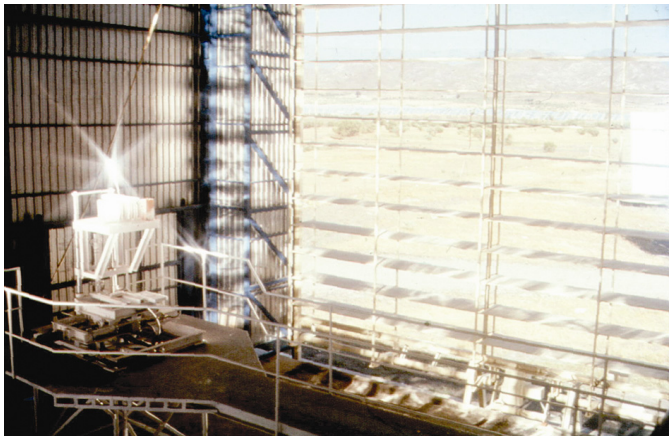


Figura 2.15. El foco y la mesa de ensayos, a la izquierda de la foto. A la derecha, el atenuador totalmente abierto permite el paso de los rayos procedentes de los helióstatos, situados en el exterior

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

Asociado al Horno Solar, la PSA 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.

El equipamiento del que actualmente dispone este laboratorio es el que se relaciona a continuación:

Figura 2.16. Vista del Laboratorio de Materiales de la PSA

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

La configuración actual de la planta piloto para fotoquímica basada en captadores tipo CCP (Colectores cilindro-parabólicos) está compuesta por 1 colector solar (32 m^2) del tipo cilindro-parabólico con seguimiento solar en dos ejes. El factor de concentración que se alcanza en ellos es de 10.5 soles. El tubo absorbedor es de vidrio borosilicatado de 56 mm de diámetro y 2 mm de espesor.

En la PSA hay instaladas varias plantas empleando CPCs (captadores cilindroparabólico compuestos). La más antigua (1994) consta de tres módulos cada uno con una superficie de 3 m^2 con una inclinación sobre la horizontal de 37º. El volumen total del sistema es de aproximadamente 250 L y el del tubo absorbedor es de 108 L (volumen iluminado). En 2002 se instaló un nuevo captador de 15 m^2 que permite realizar experimentos con hasta 300 L. Además, se dispone de 2 pequeños prototipos gemelos (instalados en 1998) para realizar experiencias en paralelo: 3.08 m^2 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 trasparente a 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 m^2, cuando antes hacían falta 3 módulos. Desde 2004 se

Figura 2.17. Sistema biológico instalado bajo estructura CPC de uno de los fotorreactores.

cuenta con otro CPC (con diámetro de foto-reactor 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 (descrito más adelante) y un sistema de ozonización (50 L, con un sistema de producción de ozono de hasta 15 g O_3/h). Todo ello monitorizado (pH, T, ORP, O_2, caudal, H_2O_2, O_3) y controlado (pH, T, caudal) por un ordenador. Acoplado a estos foto-reactores se encuentra el sistema biológico de tratamiento de aguas del grupo de detoxificación y desinfección de la PSA (Figura 2.17). Este sistema biológico consta de tres tanques: un tanque cónico de 165 L de volumen total en el que se acondiciona el agua residual a tratar, un tanque de recirculación también cónico de 100 L de volumen total y un reactor de lecho fijo con fondo plano de 170 L de volumen total. El reactor de lecho fijo está relleno de soportes de polipropileno marca Pall®Ring, que ocupan un volumen entre 90-95 L y que son colonizados por fangos activos procedentes de la EDAR. El proceso está totalmente automatizado, dispone de sondas de pH, de potencial REDOX, de oxígeno disuelto, y de temperatura. Además se lleva a cabo el control automático del pH mediante bombas dosificadoras y del oxígeno disuelto.

Por otro lado, se dispone también de varios prototipos de captadores CPC para aplicaciones de desinfección de aguas. Uno de los sistemas consiste en dos tubos cilíndricos de vidrio de borosilicato (de 50 mm de diámetro externo) instalados sobre el foco de los reflectores, montados en una plataforma fija inclinada 37º (latitud local) y conectados en serie. La superficie iluminada del captador es de 0.42 m^2. El volumen total del sistema es de 14 L y el volumen iluminado 4.7 L. En noviembre de 2008 se llevó a cabo la instalación de otro fotoreactor para desinfección solar (Figura 2.18) que consta de dos componentes, un reactor CPC solar y una planta piloto de post-tratamiento dispuesto en una plataforma de aluminio anodizado inclinada 37º. El reactor solar consiste en dos módulos de espejos CPC, cada uno con diez tubos de vidrio de borosilicato (1500 mm de longitud, 2.5 mm de grosor y 50 mm de diámetro

Figura 2.18. Fotorreactor CPC de desinfección instalado en la PSA en Noviembre 2008.

interno). En este sistema el volumen irradiado es de 45 L frente a un volumen total de 60 L. La superficie del colector irradiada es 4.5 m^2. El agua circula a través de los tubos a un tanque de 60 L de capacidad gracias a una bomba centrífuga. El reactor se completa con una sonda de pH y otra de oxígeno disuelto, insertadas en la tubería y conectadas a un controlador MULTI44 de Crison con dos salidas de relés para cada variable y transmisión de las señales de entrada en 4-20 mA, que permite la adquisición automática de ambos parámetros. La planta piloto de post-tratamiento de agua consiste en un tanque de 100 L de capacidad para separar el TiO_2 del agua tratada. La principal dificultad del uso de suspensiones de TiO_2 es la necesidad de separar las partículas de catalizador después del tratamiento.

También se dispone de cuatro sensores de medición de radiación ultravioleta solar, una de directa con unidad de seguimiento solar y tres de global, una en posición horizontal y dos inclinadas a 37º (el mismo ángulo que los reactores CPC) 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 m^2 diseñado para contener todos los dispositivos relacionados con un laboratorio de química convencional: mesas de trabajo, campana extractora de gases, almacén de productos químicos en pequeñas cantidades, central distribuidora de gases técnicos, sistema de tensión segura, sistemas de seguridad (extintores, ducha, lavaojos etc.), bancada para balanzas de precisión, sistema de ultrapurificación de agua, baño de ultrasonidos, baño termoestático, centrífuga, sistema de destilación a vacío, así como muchos otros sistemas de uso normal en un laboratorio de química. Además, se dispone de los siguientes equipos analíticos, todos ellos relacionados con la Química Ambiental: dos cromatógrafos de líquidos (Bomba cuaternaria con detector de diodos e inyector automático, HPLC-DAD y UPLC-DAD), cromatógrafo de gases con detector de espectrometría de masas con sistema de Purga y Trampa (análisis de volátiles disueltos en agua), dos cromatógrafos iónicos: uno configurado para analizar aniones utilizando métodos isocráticos y otro configurado para analizar aniones y cationes mediante métodos de gradiente, dos analizadores de carbono orgánico total con sus correspondientes muestreadotes (análisis de carbono total mediante combustión catalítica a 670ºC), un espectrofotómetro UV-Visible, un simulador solar con lámpara de xenon, un respirómetro (para llevar a cabo análisis de biodegradabilidad, fraccionamientos de la DQO, ensayos de nitrificación y desnitrificación, etc.),y análisis de DQO, DBO y toxicidad (ensayo con *Vibrio fischeri* y con fangos activos de EDAR mediante respirometría). Todos estos sistemas están informatizados mediante una completa red de ordenadores. En cuanto al análisis de muestras microbiológicas y de catalizadores procedentes de ensayos de desinfección y detoxificación solar, desde 2006 se dispone de un Microscopio Electrónico de Barrido (SEM, scanning electron microscopy). Para la preparación de dichas muestras, el sistema se completa con un equipo de recubrimiento metálico y otro de secado en punto crítico. 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, 2 microscopios ópticos de contraste de fases con módulo de fluorescencia acoplados a una cámara de microfotografía, espectrofotómetro, turbidímetro, microcentrífuga y multisensor de pH, oxígeno disuelto y conductividad.

2.9 Planta de desalación solar mediante destilacion MED Sol-14

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 de absorción (LiBr-H_2O) 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 m^3/h, la producción de agua destilada se sitúa en 3 m^3/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 40ºC, con una temperatura máxima de operación de 70ºC en la primera celda.

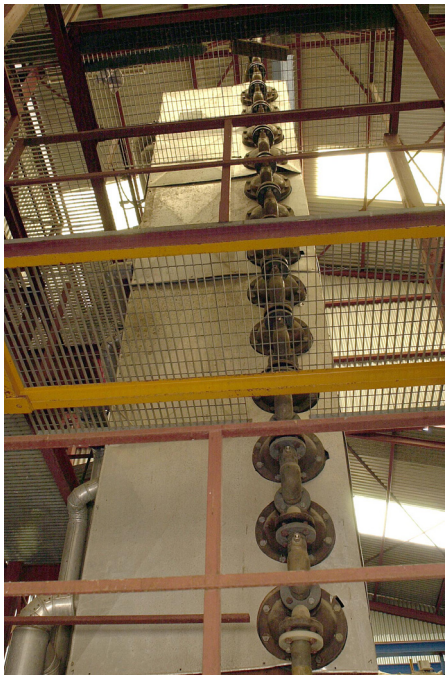


Figura 2.19. La planta MED Sol-14

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 m^2, dispuestos en cuatro filas de 63 captadores. La temperatura máxima de trabajo es de 100ºC 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 m^3. 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 de absorción (LiBr-H_2O) de doble efecto está interconectada con el último efecto de la planta MED. El vapor saturado de baja presión (35ºC, 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 (180ºC, 10 bar) así como la operación de la planta MED en ausencia de radiación solar.

2.10 Plataforma de Ensayo para Módulos de Destilación por Membranas

Esta nueva instalación se ha implementado en el año 2007 en el marco del proyecto europeo MEDESOL. La instalación MEDESOL-1 fue diseñada para hacer el análisis de una planta de destilación por membrana multietapa, acoplada a un campo solar de captadores estáticos (tipo CPC) encargados de aportar la energía térmica necesaria para el proceso de destilación. La planta piloto incluye una serie de componentes nuevos, desarrollados en el marco del proyecto.

En la actualidad cuenta, como componente principal, con tres módulos de destilación por membrana tipo AGMD[1] fabricados por el grupo Keppel Seghers (www.keppelseghers.com). Cada uno de los módulos tiene una producción de destilado de entre 5 y 15 L h^{-1} m^{-2} dependiendo de las condiciones de operación.

Figura 2.20. Vista de la planta de ensayos para módulos de DM

El intercambiador de calor esta especialmente tratado para soportar la acción del agua salada y caliente. A las placas del intercambiador se les aplicó una película especial, desarrollada por uno de los socios del proyecto (Universidad de Stuttgart) con el objetivo de reducir los problemas de ensuciamiento y deposiciones calcáreas.

El campo de captadores solares esta compuesto por 252 CPC (Compound Parabolic Collectors, CPC Ao Sol 1.12x[2]) y esta orientado E-W para maximizar la cantidad de energía recogida a lo largo del año. Cada captador tiene una superficie aproximada de 2 m^2. La superficie total del campo es de 499 m^2 .El

[1] Air Gap Membrane Distillation: Es una de las configuraciones posibles dentro de la tecnología de destilación por membrana.

[2] Collares-Pereira M., Carvalho M.J., Farinha Mendes J.,Oliveira J.,Haberle A.,Wittwer V.(1995). Optical and Thermal Testing of a new 1.12X CPC Solar Collector Solar Energy Materials, and Solar Cells, 37, 175-190.

Figura 2.21. Módulos de destilación por membrana caracterizados en la planta; izquierda: Modulo de Scarab AB; derecha: módulo de Keppel Seghers

campo de captadores es modular y por tanto muy versátil, pudiéndose ajustar fácilmente a las necesidades térmicas del proceso. Por las necesidades térmicas de la planta de destilación por membrana, sólo es necesaria una de las filas del campo (125 m^2).

Como elementos auxiliares, la instalación cuenta con dos tanques de 2 m^3, un intercambiador de calor conectado con el campo de captadores solares térmicos, un aerorefrigerador conectado a la corriente de refrigeración y al circuito solar y la instrumentación necesaria para la evaluación del proceso (medición precisa de temperaturas, presiones, caudales y conductividad) cuyos datos se registran en el correspondiente sistema de adquisición de datos. En la Figura 2.22 se puede ver un esquema de la instalación.

La instalación es versátil y permite el ensayo tanto de diferentes configuraciones como de nuevos módulos de destilación por membrana. En la instalación se han caracterizado dentro del proyecto MEDESOL, los modulos fabricados por la firma sueca Scarab AB (www.scarab.se) y posteriormente el circuito fue adaptado, mediante ligeras modificaciones para la recepción de los módulos de destilación por membrana de la empresa con sede en Singapur, Keppel Seghers.

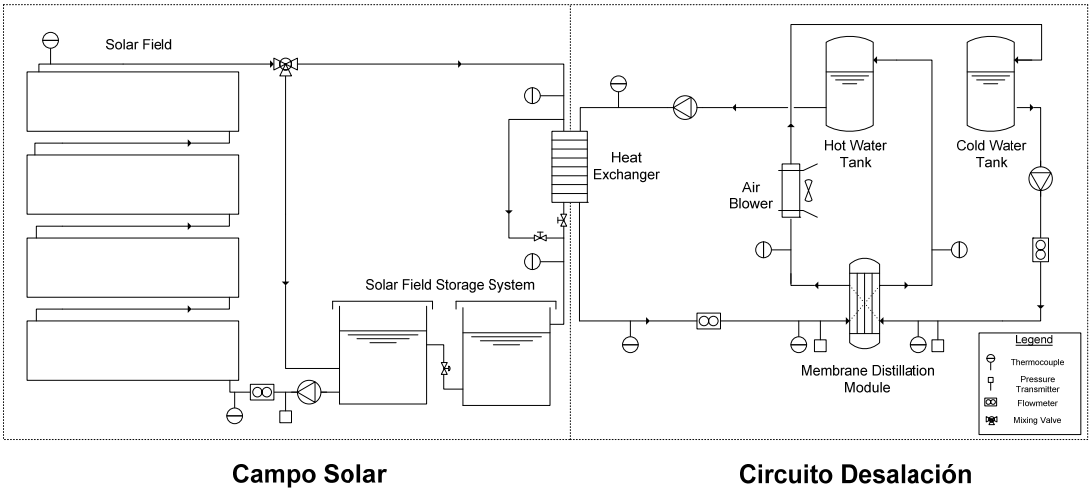


Figura 2.22. Esquema de la planta de DM

Figura 2.23. Instalación experimental de ORC solar

2.11 Instalación ORC solar

La instalación construida en 2009 consta de un prototipo de generador energético de ciclo Rankine Orgánico fabricado por la empresa suiza Eneftech. El generador tiene una potencia eléctrica nominal de 5 kW, funciona con una turbina tipo Scroll y utiliza el fluido de trabajo Solkatherm SES36. El sistema necesita una alimentación térmica de entre 25 y 30 kW, con temperatura de entrada al evaporador de unos 200ºC. Se trata de un prototipo único por varias razones: (i) la turbina, un expansor tipo Scroll, está especialmente diseñada para este tipo de máquina, en lugar de utilizar en modo inverso una turbina de las que generalmente se usan como compresores en máquinas de refrigeración; (ii) la temperatura de entrada al ciclo es más elevada que la de otras instalaciones ORC similares, y por tanto el fluido orgánico que se utiliza es diferente. Esto permite en teoría un mayor rendimiento.

La máquina está conectada al depósito de aceite térmico del campo solar de colectores cilindro-parabólicos Acurex mediante un circuito muy simple controlado por una válvula de regulación automática. Al hacer la conexión no directamente al campo solar, se pueden estabilizar las condiciones de entrada de la alimentación térmica. Dentro de la máquina, el fluido calentado se evapora en el evaporador y el vapor se introduce en el expansor para activar la rotación del generador. Una vez exhausto, el vapor saliente de la turbina se enfría y condensa en el condensador para cerrar el ciclo con la bomba que devuelve el líquido comprimido al evaporador. La máquina también dispone de un regenerador de calor interno, pero necesita una refrigeración para mantener frío el condensador. Esta se realiza por medio de un circuito de agua que utiliza el tanque contiguo de agua contraincendios. La energía eléctrica trifásica generada, una vez medida y analizanda la onda, se disipa a través de un sistema de resistencias que también es enfriado por el circuito de agua.

2.12 Plataforma de Ensayo de Captadores Solares Estáticos

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

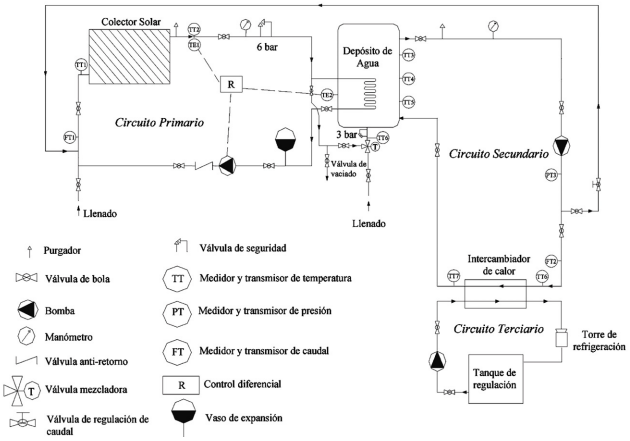


Figura 2.25. Esquema general de la plataforma de ensayo de captadores solares estáticos

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 multiefecto. 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.

2.13 Laboratorio de Aplicaciones Ambientales de la Radiación Solar en Aire

Los laboratorios del Grupo de Aplicaciones Ambientales de la Radiación Solar en Aire están equipados tanto para la síntesis de fotocatalizadores (sistema de deposición de láminas delgadas por dip-coating, bombas de digestión para síntesis hidrotermal, estufas, mufla, centrífugas, destilador de agua,…), como para la evaluación y optimización de sistemas fotocatalíticos para la detoxificación y desinfección de aire.

Figura 2.24. Fotorreactor híbrido solar/ lámparas con captador parabólico compuesto (CPC)

Cuentan con múltiples reactores de laboratorio de diferentes tamaños y diseños que emplean como fuente de radiación bien el sol, bien fuentes de radiación artificial de distinta clase, o bien ambos tipos de radiación de manera alterna o simultánea. Los reactores solares están situados en la terraza del edificio inmediatamente encima del laboratorio, lo que permite su interconexión con el equipamiento analítico y su control en modo continuo y automatizado.

Para el análisis químico de corrientes gaseo-

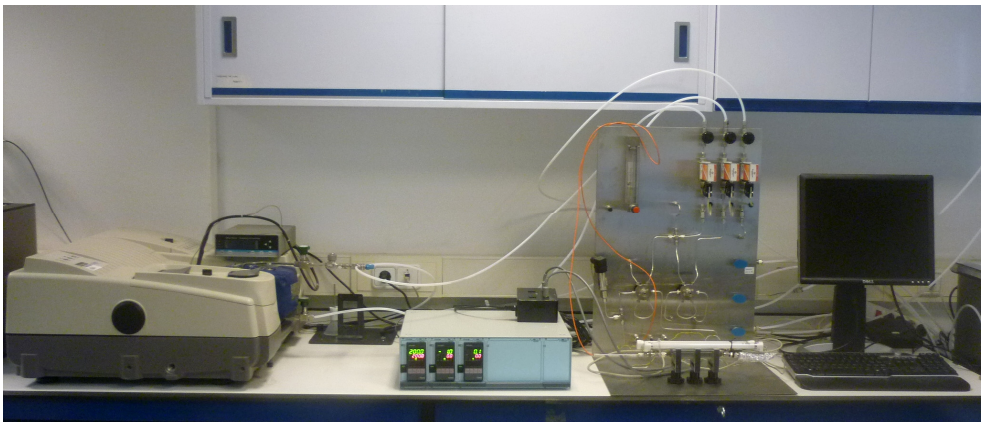


Figura 2.26. Banco de ensayos de actividad fotocatalítica con análisis de gases por FT-IR

sas y/o del aire interior de edificios cuenta con un microcromatógrafo de gases con detector de conductividad térmica (microGC), dos cromatógrafos con detectores FID y TCD, un equipo de desorción térmica automática acoplado a un cromatógrafo de gases asociado a un detector espectrofotométrico de masas (ATD-GC-MS) y un espectrómetro FT-IR dotado de una celda de gases de reflexión múltiple. Además, como accesorios del espectrómetro FT-IR se dispone de una celda de ATR y de un accesorio DRIFTS al que se acopla una celda de reacción de tres ventanas que permite el análisis operando de lo que ocurre en la superficie del fotocatalizador en reacción.

Para la caracterización biológica del aire se dispone de un laboratorio individual equipado con una campana de seguridad biológica de flujo laminar vertical para trabajar con microorganismos y preparar medios de cultivo de forma estéril; un autoclave para esterilización de medios y material de laboratorio; un contador de colonias con cámara fotográfica acoplado a ordenador; lupa de 63 aumentos con iluminación por fibra óptica y cámara fotográfica; una centrífuga con sistema de refrige ración; dos estufas para incubación y dos neveras con congelador para conservación de muestras. Para el muestreo y el seguimiento de la capacidad de desinfección fotocatalítica del aire se dispone de impactadores de aire tanto de cabezal sencillo como de doble cabezal.

Figura 2.27. ATD-GC-MS para análisis de aire interior

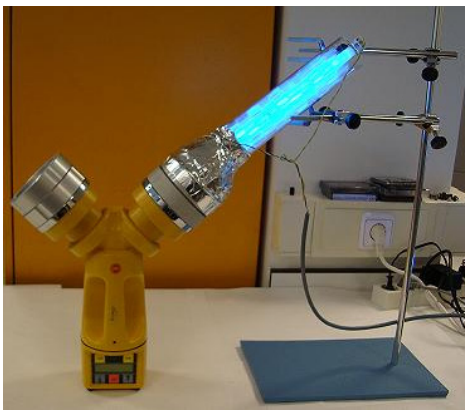


Figura 2.28. Impactador de aire para muestreo biológico acoplado a reactor de desinfección fotocatalítica

2.14 Laboratorio de Envejecimiento Acelerado y Durabilidad de Materiales.

Las plantas solares termoeléctricas se encuentran en el comienzo de su explotación comercial masiva. Uno de los mayores desafíos de la tecnología consiste en disminuir, en la medida de lo posible el riesgo asociado a sus componentes principales, como el receptor solar. Estos componentes se encuentran sometidos a muy altos flujos solares (hasta 1200kW/m^2) al mismo tiempo que a altas temperaturas (entre 300ºC y 1200ºC dependiendo del fluido caloportador seleccionado). El mayor riesgo tecnológico de este tipo de plantas se encuentra asociado a la adecuada selección de los materiales con los cuales se fabrica el receptor, especialmente en lo concerniente a la durabilidad de los mismos bajo condiciones reales de operación. Sin perder de vista que el ciclo de vida característico de este tipo de planta se encuentra entre 20 y 25 años.

Bajo esta perspectiva, y en un ámbito internacional, se comienzan a desarrollar metodologías que aproximen el problema del envejecimiento acelerado de estos componentes y materiales. Esto incluye el estudio de la durabilidad de los componentes más críticos de las plantas termosolares, no sólo de los materiales absorbentes, sino también de los tratamientos y recubrimientos superficiales para aumentar la absortancia de los materiales. Por esta razón, se hace necesario descubrir e investigar los mecanismos físicos de degradación de los materiales así como los procesos de fatiga y rotura de los mismos; todo ello a altas temperaturas y bajo radiación solar concentrada.

Con esta perspectiva, el CIEMAT está instalando en la PSA un laboratorio de envejecimiento acelerado y durabilidad de materiales para cubrir una demanda que empieza a ser importante en el campo de los sistemas solares de concentración.

El laboratorio de envejecimiento acelerado se encuentra dividido entre las instalaciones de CIEMAT en la Plataforma Solar de Almería y Moncloa (Madrid); y consta de las siguientes capacidades:

- un laboratorio propiamente dicho, equipado con la instrumentación necesaria para ciclado térmico: dos hornos mufla, un horno de alta tempera-

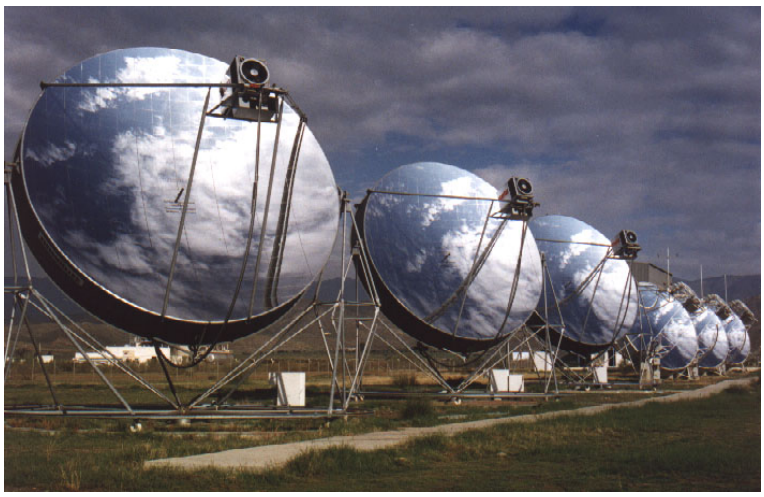


Figura 2.29. Vista general de los discos parabólicos que forma parte del laboratorio de envejecimiento y durabilidad.

tura, una cámara climática, un lazo para ensayo de receptores volumétricos refrigerados por aire e instrumentación asociada a ellos; y análisis de materiales: microscopios óptico y electrónico, microdurómetro, termobalanza, análisis por dispersión de rayos X, etc. Este laboratorio se ha empezado a construir en 2009 y se prevé que entre en funcionamiento en el segundo semestre de 2010.

- 4 discos parabólicos (Figura 2.29), 3 de tipo DISTAL-II con una potencia térmica total de 50 MW y seguimiento en dos ejes; y 1 de tipo DISTAL-I con una potencia térmica total de 40 MW y seguimiento polar en un eje. En los 4 discos, se ha reemplazo el motor Stirling con el que estaban equipados por diferentes plataformas de ensayo que nos permitan someter a los materiales o a prototipos a escala de receptores a alta concentración solar y realizar ciclado acelerado de temperaturas. Estas plataformas cubren una amplia variedad de aplicaciones, desde ensayo con materiales propiamente dichos, ensayo de receptores volumétricos (metálicos o cerámicos) refrigerados por aire, ensayo de prototipos a escala de receptores con o sin fluido caloportador, etc.
- Un simulador solar, instalado en CIEMAT-Moncloa (Figura 2.30), de 4 kW de potencia total. Dicho simulador está formado por un lampara de xenon y un concentrador parabólico que permite alcanzar flujos de hasta 1400 kW/m^2.

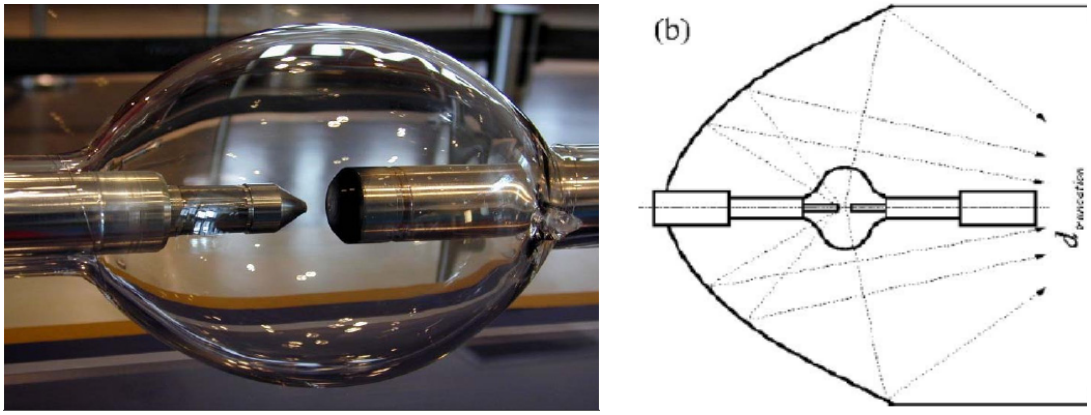


Figura 2.30. Lampara de xenon empleada en el simulador solar y configuración de lampara y concentrador.

2.15 Laboratorio de Radiometría de la PSA

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.

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 2.31. Laboratorio de Radiometría.

determinar la temperatura de una determinada superficie. También es utilizado como referencia de irradiancia para calibración de radiómetros.

El Laboratorio de Radiometría cuenta con tres cuerpos negros como referencia para calibración de sensores IR para medida de temperatura asegurando trazabilidad en el rango 0-1700 ºC. El cuerpo negro MIKRON M330 es de cavidad cilíndrica y puede proporcionar cualquier temperatura entre 300 y 1700ºC con una exactitud de ± 0.25% y una resolución de 1ºC. Su emisividad es de 0.99 en una apertura de 25 mm de diámetro. El cuerpo negro MIKRON M305 es de cavidad esférica y puede proporcionar cualquier temperatura entre 100 y 1000 ºC con una exactitud de ± 0.25% y una resolución de 1ºC. Su emisividad es de 0.995 en una apertura de 25 mm de diámetro. El cuerpo negro MIKRON M340 es de cavidad plana y puede proporcionar cualquier temperatura entre 0 y 150ºC con una exactitud de ± 0.2ºC y una resolución de 0.1ºC. Su emisividad es de 0.99 en una apertura de 51 milímetros de diámetro. Estos cuerpos negros llevan incorporado un sistema de control PID y la temperatura es comprobada mediante un termopar de platino de alta precisión.

En la PSA se llevan a cabo ensayos en los que se requiere la medida de altas temperaturas (>1000ºC) en superficies materiales. La utilización de termopares viene siendo el método comúnmente utilizado a pesar de que es de sobra sabido que los métodos de contacto para medida de temperaturas superficiales no son correctos. Se requiere por tanto la utilización de detectores de infrarrojos (medida sin contacto).

2.16 Otras Instalaciones

2.16.1 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.

Figura 2.32. Visión global de la nueva estación radiométrica de la PSA

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.

Figura 2.33. Sondas del espectrorradiómetro para medida de la radiación global y difusa dispuestas en el seguidor solar

Figura 2.34. Detector del espectrorradiómetro con el *switcher* de conexión de las tres sondas

2) ***El espectrorradiómetro***, que por su distinta naturaleza debe de ser considerado como un sensor independiente. Se trata de un prototipo desarrollado por Instrument System bajo especificaciones del CIEMAT. Este equipo, basado en el SP320D, que incorpora un fotomultiplicador y un detector de sulfuro de plomo, registra la distribución espectral de la radiación solar en todo su rango espectral (de 200 a 2500 nm), frente a la mayoría de los equipos que trabajan únicamente en una parte del espectro (generalmente el visible o el ultravioleta). Al equipo base, se le ha acoplado un intercambiador de manera que puede trabajar con tres sondas alternativamente, las cuales se han dispuesto en un seguidor solar para registrar la radiación solar global, directa y difusa respectivamente. Aunque es configurable, el equipo se ha programado de manera que registra un espectro (con una resolución aproximada de 2 nm en el UV y visible y de 10 nm en el IR) en unos 7 minutos, y cada 10 minutos cambia de sonda de medida. De esta manera se dispone de una base de datos de 2 espectros de cada una de las variables de la radiación solar 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 diariamente. Los datos se almacenan en un sistema de gestión de base de datos relacional que se describe a continuación y durante la adquisición se aplican entre otros una serie de filtros físicos. Cabe destacar el hecho de que este sistema de adquisición de datos está conectado a un GPS que actúa como servidor de tiempo de alta precisión.

Figura 2.35. Acceso y registro de usuarios a la información de radiación solar.

4) ***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.

2.16.2 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 un 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 2.36. Ubicación del Laboratorio de Calibración Espectral.

2.16.3 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

Figura 2.37. Vistas del LECE: Células, edificios referencia y chimenea solar

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.

2.16.4 El Edificio Arfrisol

El edificio de oficinas 'ARFRISOL' de la PSA es 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

Figura 2.38. Edificio del proyecto ARFRISOL

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 kWp 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.

2.17 Plan 'E'

La actual situación económica que atraviesa España, ha hecho que el Gobierno pusiera en marcha a comienzos del año 2009 una serie de medidas de carácter extraordinario para dar impulso a la actividad económica y al empleo. Una de ellas es el Fondo Especial del Estado para la Dinamización de la Economía y el Empleo. Dicho fondo fué dotado con 3.000 millones y su objeto ha sido el financiar actuaciones de inmediata ejecución, fundamentalmente a lo largo del mismo 2009, en el ámbito de determinados sectores productivos estratégicos.

En la distribución de este fondo se encuentran las actuaciones de I+D+i, con 490 millones de euros asignados, de los que 180 millones se han destinado a iniciativas dentro del sector de la Energía, siendo uno de los objetivos marcados por el Gobierno, la consolidación del liderazgo de la tecnología española dentro de sectores como el de las energías renovables.

Como gran instalación de I+D+i dentro del sector de la energía, la PSA fué incluida como una de las iniciativas para potenciar el incremento de la contribución de las energías renovables, dotando con 10 millones de euros las propuestas presentadas para la inversión tecnológica dentro de este sector emergente.

Por la resolución de 26 de marzo de 2009 de la Secretaría de Estado de Investigación, se han transferido al CIEMAT 10 millones de euros para la construcción de nuevas infraestructuras asociadas a la PSA. Esta resolución ha sido revisada mediante resolución del 27 de julio, de manera que se fija el plazo de ejecución de las propuestas aprobadas hasta el 30 de septiembre de 2010.

A continuación se describen de manera resumida las distintas acciones emprendidas en la PSA merced a esta financiación adicional.

2.17.1 Acciones relacionadas con las instalaciones experimentales

Prototipo para el desarrollo de un colector cilindro-parabólico (CCP) sin juntas rotativas

La configuración actual de los lazos en un campo de tecnología CCP exige la interconexión de los distintos módulos colectores a base de juntas rotativas.

Este elemento de unión sufre unas condiciones de trabajo muy adversas, a altas temperaturas y presiones que además sufren transitorios muy severos y frecuentes durante la operación.

Es necesario desarrollar nuevas soluciones para esta interconexión entre módulos, dado que la tecnología avanza en el sentido de incrementar temperaturas y presiones de trabajo para mejorar el rendimiento termodinámico global del proceso.

Adicionalmente, hay que considerar el hecho de que estas temperaturas y presiones más elevadas se conseguirán mediante el empleo de otros fluidos de trabajo diferentes del habitual (aceite térmico sintético), siendo los principales candidatos el vapor de agua sobrecalentado (lazo DISS de la PSA) u otros mas innovadores como el CO_2 o el N_2.

Evidentemente, el empleo de gases trae consigo potenciales problemas de fugas en un elemento como la junta rotativa entre módulos del campo solar.

Se pretende pues, estudiar la viabilidad de un colector en el que el conducto por la que circula el fluido de trabajo a través de la línea focal permanezca lo mas firme y estable posible en el espacio, siendo la parte reflectante la que efectúe el desplazamiento necesario para el seguimiento solar.

Nuevo sistema de control y adquisición de datos del actual lazo de ensayos para generación directa de vapor solar 'DISS'.

La planta solar experimental DISS constituye la primera y única planta en funcionamiento en el mundo dedicada a la investigación del proceso de 'Generación Directa de Vapor' en colectores cilindro-parabólicos bajo condiciones solares reales.

Este sistema se puso en funcionamiento en 1999 y ha servido como banco de ensayos para las investigaciones realizadas en el marco de los proyectos internacionales DISS, INDITEP y DISTOR, financiados por la Unión Europea, y en los que han participado centros de investigación y empresas del sector industrial principalmente españolas y alemanas.

Las investigaciones que se realizan en este sistema son de diversa índole: estudios de transferencia de calor y caída de presión con flujo bifásico en los tubos receptores de los colectores solares, control de proceso con distintas configuraciones de campo solar, comportamiento térmico de los componentes

del campo solar con condiciones de proceso de alta presión y temperatura (hasta 100 bar y 400ºC), etc.

Como la instalación ocupa una superficie extensa (la longitud del lazo de colectores es de 700 m), y se trata de una planta experimental donde es fundamental monitorizar el proceso en un número elevado de ubicaciones en la instalación, muy superior al existente en una planta comercial, el sistema de control y adquisición de datos está constituido por una serie de cabinas distribuidas por el campo solar. En dichas cabinas se ubican tarjetas de entrada/salida donde se conectan las señales de todos los sensores (termopares, caudalímetros, transmisores de presión, medidores de nivel, medidores de radiación solar, etc) y equipamiento (bombas, válvulas automáticas, sistemas de seguimiento solar de los colectores, etc) instalados en la planta experimental, hasta un total de alrededor de 450 señales de campo.

Este sistema, fue instalado en el año 1998 y en la actualidad presenta una tasa de averías y fallos muy elevada, lo cual imposibilita el normal desarrollo de los ensayos previstos.

Por dichos motivos se está acometiendo la renovación del hardware y el software del sistema de adquisición de datos y control.

Nuevo laboratorio para el estudio de la tecnología de sales fundidas como almacenamiento térmico para las plantas 'CSP'.

Se ha diseñado y se está construyendo un sistema experimental de sales fundidas que permita llevar a cabo actividades de investigación y desarrollo, en condiciones reales de operación, relativas a sistemas de almacenamiento térmico para centrales solares termoeléctricas, que utilicen sales fundidas como medio material de almacenamiento energético.

La flexibilidad ha sido un factor crítico a la hora de diseñar el sistema solicitado, no sólo en relación al tipo de energía almacenada (calor sensible versus calor latente), sino a la gran capacidad para la investigación que aportará:

- Ensayo de componentes hidráulicos: válvulas, bombas, materiales, etc.
- Estudio y optimización de diferentes componentes específicos, como intercambiadores de calor, conceptos de diseño, etc.
- Optimización y ensayo de sistemas calefactores auxiliares
- Ensayo de la instrumentación necesaria para el control de sistemas de sales fundidas.
- Estudio y optimización de estrategias de control, de operación y mantenimiento de sistemas de sales fundidas.

El sistema estará conectado al lazo DISS, que le suministrará vapor en condiciones reales de operación solar.

Como complemento al sistema anterior se va a montar un laboratorio dotado de equipos para la caracterización termoquímica de las sales. De este modo se podrán evaluar la calidad de las sales fundidas utilizadas en el sistema anteriormente descrito, los puntos de cambios de fase de dichas sales, la histéresis de tales puntos –importantes en la definición óptima de los procesos de carga y descarga del almacenamiento-, su estabilidad termoquímica, etc.

Equipamiento científico para la nueva línea de colaboración internacional en caracterización y homologación de receptores solares ("certificación" CIEMAT-DLR)

Un problema actual para la industria solar termoeléctrica es la falta de normativa y de componentes solares homologados en el mercado, de manera que no es posible para un inversor determinar de forma satisfactoria cuáles son las propiedades comparativas de un producto frente a otro.

Este problema puede actuar como freno para el despliegue comercial e incluso dar lugar a situaciones de riesgo en plantas existentes.

Desde nuestra posición de centro de referencia mundial para esta tecnología, es nuestra obligación lanzar las iniciativas necesarias para paliar este problema. En estos momentos hay varias iniciativas concretas en proceso de lanzamiento, concretamente, en el marco de la cooperación hispano-alemana que mantiene el CIEMAT con el DLR en la PSA se van a construir/adaptar algunas de las instalaciones de ensayo para la iniciativa QUARZ-CSP.

Esta iniciativa aborda la necesidad de disponer de las instalaciones de ensayo y los procedimientos de evaluación necesarios para, entre otros, los siguientes componentes de sistemas CSP:

- Colectores cilindro-parabólicos completos: módulo experimental rotatorio KONTAS
- Adaptación de dos discos parabólicos DISTAL-II para ensayos de envejecimiento acelerado de materiales absorbedores para receptores solares.
- Caracterización fotogramétrica de espejos

Figura 2.39. Cimientos de la nueva instalación para caracterización de CCPs 'Kontas'

Estas nuevas instalaciones serán gestionadas conjuntamente por ambas instituciones dentro de esta iniciativa internacional.

Uno de los objetivos que se persiguen es obtener la capacidad de emitir certificados técnicos para ciertos componentes, avalados por el reconocimiento internacional de que gozan el CIEMAT y el DLR en este campo.

Nuevo horno solar de muy alta concentración para procesos termoquímicos a alta temperatura (p.ej., producción de hidrógeno)

Se ha iniciado la construcción de una nueva instalación para ubicar el concentrador McDonnell Douglas perteneciente a PSA-CIEMAT de 98,5 m^2, capaz de concentrar 3000 veces la radiación que incide sobre él, y con una potencia de 68 kW, para su utilización como instalación para el ensayo de prototipos de generación de calor solar para procesos industriales y tratamiento de residuos de alta temperatura (superior a 1000ºC).

Figura 2.40. Obras del nuevo Horno Solar

Este concentrador permite el desarrollo de prototipos preindustriales para la generación de calor de proceso solar, una nueva línea iniciada en PSA-CIEMAT hace 4 años, sobre la base de diferentes modelos de reactor que demuestran la viabilidad de los procesos industriales estudiados. Los resultados obtenidos indican que la energía solar de concentración podrá aplicarse eficazmente a procesos industriales que requieran altas temperaturas, como los relacionados con los sectores cerámico, metalúrgico o de eliminación de residuos tóxicos persistentes.

Nueva instalación destinada al estudio del acoplamiento entre una planta solar termoeléctrica y otra de desalinización de agua salobre que aproveche el calor residual

Esta iniciativa contempla la adquisición de los equipos necesarios para estudiar las posibilidades técnicas de dicho acoplamiento.

El CIEMAT es la entidad que representa a España en el 'Implementing Agreement' de la Agencia Internacional de la Energía denominado 'SolarPACES' (Solar Power and Chemical Energy Systems). Este es un foro donde la comunidad científica internacional se reúne de manera regular para intercambiar información e incluso lanzar tareas de investigación conjunta en el ámbito de la energía solar de concentración.

Dado el creciente interés suscitado en torno a este tipo de aplicaciones de cogeneración, en el año 2007 fue creada una nueva tarea dentro de 'SolarPACES' 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 (Solar-PACES Task VI), se encuentra liderada por el responsable de la Unidad de Aplicaciones Medioambientales de la PSA (sobre la que recae la coordinación de la misma), y tendrá una duración inicial de cinco años siendo su comienzo oficial el 1 de enero de 2008.

Figura 2.41. Edificio para banco de ensayos CSP+D (acoplamiento entre planta solar de potencia y desalación)

La construcción de esta nueva infraestructura experimental permitiría a España liderar de manera inequívoca el desarrollo tecnológico de este tipo de aplicaciones solares.

Nueva instalación solar experimental para aplicaciones de poligeneración y calor de proceso

Asociado a complejo ya existente de instalaciones de desalación solar (formado por la planta de destilación multiefecto SOL-14, la bomba de calor de doble efecto, la plataforma de ensayo para módulos de destilación por membranas, la instalación de Ciclo Rankine Orgánico y el anterior banco de ensayo CSP+D) se va a añadir también un pequeño campo experimental de captadores cilindro-parabólicos de media temperatura.

Figura 2.42. Nuevo campo de captadores cilindro-parabólicos para la generación de calor de proceso, hasta 200ºC"

Este campo, formado por un total de 8 captadores *Polytrough 1200* de la empresa australiana NEP Solar Pty Ltd, tiene un área total de apertura de 230 m^2 y usará aceite térmico Therminol 55 como fluido de trabajo, alcanzando una temperatura máxima de 220ºC. Las características de este captador son las siguientes:

- Apertura: 1.2 m
- Longitud de módulo: 24 m
- Altura: 1.58 m
- Distancia focal: 0.65 m
- Peso de cada modulo: 900 kg (32 kg/m2 de area de aperture)

El uso que tendrá esta instalación será la de producción de calor solar de proceso para el desarrollo de aplicaciones de poligeneración, ocupando siempre la desalación solar un lugar destacado entre ellas.

Nuevas instalaciones de ensayo e instrumental científico para el estudio de la destoxificación, la desalinización y la desinfección de aguas mediante energía solar.

Se están adquiriendo nuevos equipos de laboratorio para esta línea de trabajo de la Unidad de Aplicaciones Medioambientales de la Energía Solar.

2.17.2 Acciones relacionadas con las infraestructuras generales y obra civil

Transformación de un antiguo edificio de oficinas en edificio de laboratorios.

Se ha acometido la rehabilitación del edificio dedicado a oficinas para personal científico y técnico (edificio SSPS). Esta rehabilitación incluye la reordenación de las dependencias del mismo con vistas a un nuevo uso como edificio de laboratorios.

A su vez, la caseta donde se ubican actualmente los laboratorios será derruida y el área será reurbanizada.

Figura 2.43. Rehabilitación de antiguo edificio de oficinas para su uso como laboratorios

Obras de urbanización y ajardinamiento del centro

La PSA fue concebida en sus orígenes como un proyecto de demostración de la tecnología solar termoeléctrica y con una vida limitada en el tiempo.

Por tal motivo, las inversiones se concentraron en las instalaciones de ensayo, construyendo el resto de las infraestructuras un carácter de temporalidad que con el paso de los años ha motivado la necesidad de un programa de inversiones continuado para dotar al centro de una imagen adecuada a su prestigio.

En el momento actual, esta sería la inversión para concluir las obras necesarias de urbanización y ajardinamiento.

Figura 2.44. Asfaltado de carreteras interiores

Nuevo edificio técnico para biblioteca y centro de cálculo

Con el incremento previsto tanto de personal estable del CIEMAT, como de personal de paso (científicos visitantes y estudiantes de diversas procedencias) se hace necesario dotar al centro de un edificio de servicios técnicos que provea de los necesarios recursos educativos y de apoyo a la investigación.

Figura 2.45. Obra del nuevo edificio para biblioteca y centro de cálculo

Este edificio recibirá los fondos de la biblioteca actual de la PSA, que actualmente forma parte del viejo edificio SSPS. Aparte de eso, se habilitará un 'centro de cálculo', donde se establecerán recursos computacionales de alto nivel para su uso por parte de toda la comunidad científica de la PSA.

Por último, aunque no menos importante, se dotará a este edificio de un aula con capacidad de unas 30 personas para posibilitar la impartición de seminarios y masters, continuando con la tendencia que se viene observando de una mayor demanda de actividades formativas por parte de los científicos de la PSA.

3 Unidad de Sistemas de Concentración Solar

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

Contribuciones: Félix Téllez Sufrategui
Alfonso Vidal Delgado
Angel Morales Sabio
Aránzazu Fernandez García
Mª Esther Rojas Bravo
Jesus Fernández Reche
Thorsten Denk
Mónica Álvarez-de-Lara
Inmaculada Cañadas Martínez

3.1 Introducción

La Unidad de Sistemas de Concentración Solar (USCS) es una de las dos Unidades de I+D que componen la Plataforma Solar de Almería y cuenta con personal distribuido entre las instalaciones del Ciemat en Almería y en Madrid. El objetivo principal de esta Unidad 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

En el periodo 2008-2009, al igual que en los años anteriores desde su constitución, las actividades llevadas a cabo dentro de la USCS se han enmarcado dentro de alguna de las cuatro líneas principales de trabajo que tiene definidas como objetivos parciales:

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

- desarrollo de nuevos componentes para sistemas de concentración solar, con una mejor relación calidad/precio,
- desarrollo de nuevas capacidades experimentales y herramientas de simulación para caracterización, análisis y diagnóstico (óptico, térmico, etc.) de este tipo de sistemas solares,
- impulsar y promover actuaciones de vanguardia en relación con las tecnologías solares de concentración, de modo que se tengan abiertos caminos de mejora tecnológica a medio y largo plazo (como proyectos de demostración, análisis de prospectiva y viabilidad, etc.), 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.

La intensa actividad de promoción y desarrollo de plantas solares termoeléctricas que provocó el Real Decreto 661/2007 continuó durante los años 2008 y 2009. Durante el primer semestre del año 2008 se llegaron a contabilizar más de 240 proyectos de plantas solares termo-eléctricas con aval depositado, con una potencia eléctrica total asociada superior a los 10 GW, mientras que a finales del año 2009, ya había un total de 183 MW_e oficialmente en operación en España, 1168 MW_e se encontraban en construcción y 9513 MW_e se encontraban en diferentes fases de promoción, habiéndose depositado los preceptivos avales bancarios para un total de 14730 MW_e.

Este gran interés del sector empresarial por las plantas solares termoeléctricas impulsó tanto el lanzamiento de proyectos internos de I+D por parte de las propias empresas, como la búsqueda de apoyo científico-técnico en los centros públicos de I+D. Esto motivó que numerosas empresas acudieran a la PSA a lo largo de los años 2008 y 2009 en búsqueda de información y asesoramiento. A lo largo de estos dos años se mantuvieron reuniones en la PSA con más de cuarenta empresas y entidades interesadas en las tecnologías de plantas solares termoeléctricas, y recibimos un número importante de peticiones de asesoramiento y apoyo técnico. Todo ello motivó una fuerte sobrecarga de trabajo en algunos campos de actividad dentro de la Unidad de Sistemas de Concentración Solar, pero en todo momento se intentó, y en la mayoría de los casos se consiguió, dar respuesta a dichas peticiones.

En esta línea de apoyo al sector privado se enmarcan tres nuevas actividades puestas en marcha por la USCS en el periodo 2008-2009. Por un lado, en el año 2009 se puso en marcha una actividad sobre estandarización, mediante la cual se ha iniciando una importante colaboración con otras entidades nacionales e internacionales para ir dotando al sector de normas que definan las características técnicas que deben tener los diversos componentes y los procedimientos de caracterización y evaluación. Por otro lado se ha constituido un grupo nacional sobre almacenamiento térmico mediante sales fundidas, en colaboración con la División de Materiales Estratégicos del CIEMAT. Por último, pero no menos importante, en el año 2009 se creó en la PSA en colaboración con el DLR alemán un laboratorio sobre reflectores solares para realizar estudios y proyectos conjuntos en este campo. Estas tres nuevas actividades de la USCS son descritas más ampliamente en los capítulos siguientes.

Siguiendo con la política de diseminación del conocimiento y de acuerdo con nuestro deseo de facilitar el desarrollo y consolidación de una industria nacional propia especializada en sistemas de concentración solar, dentro del periodo 2008-2009 se celebraron tres ediciones del curso "Sistemas Solares de Concentración", las cuales se impartieron en la sede del CIEMAT en Madrid durante los periodos: 3-13 de noviembre de 2008, 2-12 de febrero de 2009 y 16-26 de noviembre de 2009. Debido al elevado número de solicitudes recibidas, en

el año 2009 se realizaron dos ediciones del curso, cubriéndose en ambos casos el aforo máximo de alumnos. Este curso ha seguido teniendo una excelente 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. En 2008-9 se ha continuado, además, la participación en numerosas jornadas, seminarios y cursos organizados por otras instituciones con el mismo objetivo de intercambio/refresco de información y de contribuir a la visibilidad de las tecnologías de concentración solar y de las actividades propias de la USCS.

Los capítulos siguientes resumen las actividades y resultados más importantes conseguidos en los años 2008 y 2009 dentro de los tres Grupos de I+D que integran la Unidad de Sistemas de Concentración Solar, quedando claramente de manifiesto la intensa actividad desarrollada por todos ellos en sus respectivas áreas de actuación.

3.2 Grupo de Media Concentración

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

Las actividades llevadas a cabo en el periodo 2008-2009 por el Grupo de Media Concentración (GMC) se enmarcan en diversos campos, que van desde el desarrollo de nuevos componentes para colectores cilindro parabólicos, hasta la investigación de fluidos de trabajo innovadores para colectores cilindro parabólicos y la prestación de servicios técnicos a las empresas del sector.

Hay que destacar que el número de servicios técnicos prestados por el GMC se incrementó de forma importante en los años 2008 y 2009, realizándose un total de 31 servicios externos de caracterización de componentes para colectores cilindro parabólicos y de estudio de la producción anual de diversas plantas solares termoeléctricas. Este incremento de servicios externos ha motivado que la actividad dentro del GMC haya pasado de ser 100% de I+D a tener un componente importante de servicios técnicos. No obstante, esto no significa que se esté abandonando el campo de la I+D, sino que adicionalmente a dicha actividad se está dando apoyo técnico a las empresas que así nos lo piden. El servicio técnico que prestamos es un servicio muy especializado, que a la empresa que lo solicita le resulta muy difícil encontrar quien se lo preste porque el mercado de las plantas solares termo-eléctricas no está aun suficientemente desarrollado comercialmente. No es la intención del GMC dedicarse a los servicios externos en gran medida, pero la situación actual de la tecnología y la consolidación de un sector industrial español fuerte en el sector de las plantas solares termoeléctricas requiere en estos momentos del apoyo de la PSA en tareas que no son exclusivamente de I+D. Tan pronto como vayan existiendo empresas privadas que presten los servicios que ahora nos son demandados, es nuestra intención ir dejando dicha actividad y centrarnos en la I+D.

Adicionalmente a los servicios técnicos prestados, se han mantenido reuniones informativas con numerosas empresas a lo largo de los años 2008 y 2009, para darles a conocer la situación de la tecnología y las líneas principales de I+D que existen actualmente en relación con la tecnología de colectores cilindro parabólicos.

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

Durante estos dos años también se ha continuado trabajando en mejorar e intentar comercializar los desarrollos logrados en el GMC, especialmente los relativos a nuevos recubrimientos selectivos y anti-reflexivos para sistemas solares térmicos. En este sentido, se llevaron a cabo conversaciones con diversas empresas interesadas en dichos recubrimientos, habiéndose firmado en el año 2009 documentos de pre-acuerdo con dos de ellas para la comercialización del recubrimiento anti-reflexivo desarrollado y patentado por el CIEMAT.

Durante el año 2009, dentro del GMC también se ha desarrollado una intensa actividad dirigida a la mejora de las instalaciones de ensayos adscritas a este Grupo dentro de la PSA, así como a la construcción de nuevas instalaciones que aumentan de forma importante nuestra capacidades en I+D dentro del campo de la media concentración. Dentro de la mejora de instalaciones cabe destacar la actualización del sistema de adquisición de datos y control de la planta DISS de la PSA, la primera planta experimental que se construyó en el mundo para investigar bajo condiciones solares reales el proceso de Generación Directa de Vapor (GDV). Entre las nuevas instalaciones cuya construcción se ha gestionado en el año 2009 dentro del GMC cabe destacar el nuevo laboratorio de la PSA para sales fundidas, así como nuestra colaboración con el DLR en la construcción en la PSA de la plataforma de ensayos KONTAS para módulos de concentradores cilindro parabólicos. Todas estas instalaciones, así como la adquisición de numerosos equipos científicos (espectrofotómetros, cámaras climáticas, reflectómetros, perfilómetros, etc..) se ha sufragado mediante los presupuestos del Plan E otorgados a principios del año 2009 a la PSA.

A continuación se resumen las actividades y logros alcanzados en los años 2008 y 2009 dentro de los diversos proyectos en los que el Grupo de Media Concentración (GMC) de la Unidad de Sistemas de Concentración Solar de la PSA ha trabajado en dicho periodo.

3.2.1 DISTOR – Energy Storage for Direct Steam Solar Power Plants

Participantes:	DLR (Alemania), CIEMAT-PSA, Sistemas de Calor, INASMET, IBERINCO y Solucar (E); DEFY Systemes y EPSILON Ingénierie (F); SGL Technologies GMBH, FLAGSOL GMBH y ZSW (D); Weizmann Institute of Science (WIS) (IL); Central Laboratory of Solar Energy and New Energy Sources (BLG).
Contacto:	Javier León, Javier.leon@psa.es
Presupuesto total:	3 036 650 €. Proyecto financiado parcialmente por la CE (contrato SES6-CT-2004-503526)
Duración:	Febrero, 2004 - Marzo, 2008

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

miento 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 (PCM, Phase Change Materials).

Logros en 2008 y 2009: a pesar de que la fecha oficial de finalización del proyecto DISTOR, de acuerdo con el contrato firmado con la Comisión Europea (contrato SES6-CT-2004-503526), era octubre de 2007, el GMC se comprometió a continuar la campaña de ensayos prevista en el proyecto hasta completar todos los ensayos planificados en el proyecto. Los retrasos acaecidos en el año 2007 durante la fase de fabricación y montaje del modulo PCM experimental a ensayar en la PSA obligaron a prolongar la campaña de ensayos más allá de la fecha oficial de finalización del proyecto. Por este motivo los ensayos se prolongaron hasta enero del año 2008. En esa fecha se tuvo que poner fin a la campaña de ensayos debido a diversas fugas aparecidas en el haz tubular del módulo sometido a ensayos.

Tras el vaciado de las sales existentes en el interior del módulo, en la primavera de 2008 se procedió a la inspección del mismo, lo que permitió averiguar las causas que habían provocado las fugas del haz tubular. La inspección del módulo proporcionó un valioso conocimiento de cara a la construcción de futuros prototipos mejorados.

Con el fin de seguir avanzando en el diseño de sistemas de almacenamiento con materiales en cambio de fase (PCM), DLR y CIEMAT acordaron a mediados de 2008 ensayar un nuevo módulo de almacenamiento en la PSA. Dicho módulo fue enviado por el DLR a la PSA en el verano de 2009 y se prevé su montaje y evaluación en la PSA para el año 2010. Este nuevo módulo de almacenamiento mediante cambio de fase incorpora diversas ventajas que son fruto de la experiencia conseguida con el módulo anterior. La instalación y

Figura 3.1 Vista general del nuevo módulo de almacenamiento PCM que será instalado y ensayado en la PSA en el año 2010.

evaluación en la PSA del nuevo módulo PCM es fruto de una colaboración bilateral entre DLR y CIEMAT, que queda fuera de los compromisos inicialmente suscritos dentro del marco del proyecto europeo DISTOR.

El medio de almacenamiento del nuevo módulo sigue siendo sales de nitratos, y ha sido diseñado para una presión y temperatura máximas de 80 bar y 300ºC.

Publicaciones: [3.1]

3.2.2 Almería GDV- Puertollano GDV: Planta solar termoeléctrica pre-comercial con Generación Directa de Vapor

Participantes: PERSEO, IDAE, CIEMAT-PSA, AGECAM y Navarro Piquer
Contacto: Eduardo Zarza, eduardo.zarza@psa.es
Presupuesto total: 20 500 000€.
Duración: Enero 2006 – Diciembre 2012

Motivación: Los resultados experimentales obtenidos en la PSA durante el proyecto DISS (1996-2001) e INDITEP (2002-2005) pusieron de manifiesto la viabilidad técnica de la generación directa de vapor en los tubos absorbedores de colectores cilindro parabólicos horizontales, proceso conocido mediante las siglas GDV. No obstante, los resultados obtenidos en la planta experimental GDV construida en la PSA para el proyecto DISS no bastan para asegurar la viabilidad técnica y comercial de plantas GDV de gran tamaño, ya que la planta existente en la PSA está formada por solo una fila de colectores y no dispone de un turbo-grupo que convierta en elctricidad el 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 periodo 2008-2009: en el año 2008, tras la remodelación del consorcio del proyecto en Noviembre de 2007, los socios decidieron acometer el proyecto con recursos propios, ya que las numerosas gestiones realizadas hasta ese momento para conseguir las suficientes ayudas públicas habían resultado infructuosas. Una vez tomada dicha decisión se comenzaron los trámites para conseguir los permisos y el punto de conexión a la red necesarios para poder construir la planta Almería GDV dentro de la parcela de la PSA, tal y como había sido previsto desde un principio. Se presentó la correspondiente solicitud de inscripción en el Registro del Régimen Especial, se solicitó el punto de conexión para la evacuación de la electricidad producida por la planta a Sevillana-Endesa y se pidió el informe favorable de Medio Ambiente. Aunque surgieron algunos pequeños problemas de tipo medioambiental debido a la existencia dentro de la parcela de la PSA de una pequeña planta

autóctona endémica, la Linaria Nigricans, dichos problemas se solventaron incorporando en el proyecto las medidas necesarias para que la población de dicha planta existente dentro de la PSA no sufriera daños.

El mayor problema encontrado fue el punto de conexión a la red eléctrica externa, ya que según la compañía responsable de la red eléctrica local (Sevillana-Endesa), la línea de media tensión a la que debería evacuarse la electricidad producida por la planta estaba ya excesivamente sobrecargada y ni siquiera permitía la evacuación de 1 MW_e, lo cual impedía la construcción de la planta GDV porque su potencia nominal es de 3 MW_e. Puesto que la única opción para poder evacuar desde la PSA los 3 MW_e de la planta GDV era construir una nueva línea de media tensión, los socios del proyecto no tuvieron más remedio que desistir de construir la planta GDV en la PSA, ya que el extracoste de la nueva línea eléctrica hacia inviable económicamente el proyecto.

Tras considerar diversas opciones de nuevos emplazamientos, los socios se decantaron por ubicar la planta GDV en el térmico municipal de Puertollano (Ciudad Real) junto a la planta solar termoeléctrica Ibersol de 50 MW_e exis-

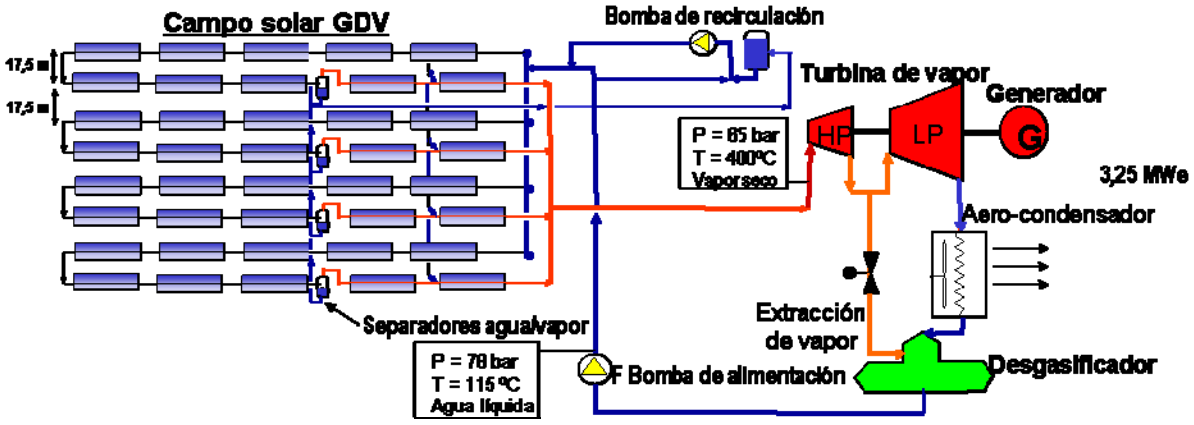


Figura 3.2 Esquema simplificado de la planta Puertollano GDV.

tente en dicho municipio. Ello obligó al cambio de nombre del proyecto, pasándose a denominar "PUERTOLLANO GDV" en vez de "ALMERIA GDV".

En agosto de 2009 se produjo una nueva remodelación del consorcio que promociona esta planta GDV, siendo los socios actuales: PERSEO, IDAE, CIEMAT, AGECAM y Navarro Piquer. Estos socios constituyeron la nueva sociedad legal en noviembre de 2009, dando inicio formal a los trabajos necesarios para la construcción de la planta PUERTOLLANO GDV, estando previsto el comienzo de las obras para octubre de 2010 y la puesta en marcha para mediados del año 2012. El coordinador del proyecto es Iberdrola Renovables.

La actualización del presupuesto para este proyecto, llevada a cabo a finales del año 2009, ha dado la cifra de 20,8 millones de euros. Salvo la ubicación física de la planta, que se ha movido desde la PSA (Almería) a Puertollano (Ciudad Real), todas las demás características de esta planta GDV se siguen manteniendo. El esquema general propuesto para esta planta GDV es el mostrado en la figura adjunta.

Publicaciones: [3.2]

3.2.3 Recubrimientos selectivos por Solgel para tubos absorbedores

Participantes: CIEMAT-PSA (España), Empresas privadas españolas
Contacto: Angel Morales, angel.morales@ciemat.es
Presupuesto total: 750.000€.
Duración: Enero, 2008 - Diciembre, 2011

Motivación: Uno de los elementos más importantes de los colectores cilindro parabólicos son los tubos absorbedores, ya que en ellos es donde la radiación solar concentrada es convertida en energía térmica. Debido a su alta carga tecnológica, en el año 2009 solo existían 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 resulta muy atractivo e interesante. Por su parte, el CIEMAT lleva varios años trabajando en el desarrollo de nuevos recubrimientos selectivos adecuados para su uso en este tipo de tubos absorbedores, habiendo realizado una patente relacionada con este tema. Con el fin de licenciar dicha patente e industrializar la fabricación de los recubrimientos selectivos desarrollados por el CIEMAT mediante la técnica Solgel, el CIEMAT colabora con diversas empresas españolas que están interesadas en dicho recubrimiento selectivo.

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), de modo que los nuevos tubos absorbedores estén basados en la tecnología Solgel desarrollada por el CIEMAT en relación con recubrimientos selectivos para tubos de acero.

Logros en 2008 y 2009: Las actividades y logros alcanzados en los años 2008 y 2009 se describen a continuación separados en dos grupos: a) recubrimientos selectivos para temperaturas del orden de 500ºC, y b) recubrimientos selectivos para baja temperatura.

Recubrimientos selectivos para temperaturas de hasta 500ºC:

Durante los años 2008 y 2009, se han optimizado las propiedades ópticas y la durabilidad del absorbente selectivo de alta temperatura. El absorbente selectivo de alta temperatura tiene una absorptancia solar de 0,96 y la emisividad térmica se ha reducido considerablemente, hasta unos valores de 0,087 a 400ºC y de 0,11 a 500ºC. En la Figura 3.3, se muestra el espectro completo del absorbente selectivo de alta temperatura, optimizado durante el año 2008.

Se han realizado ensayos de durabilidad térmica del absorbente, a 500ºC en aire, durante 6 meses, sin que se haya producido variación alguna de las propiedades ópticas, lo que confirma la elevada estabilidad térmica del absorbente y su posibilidad de uso en tubos receptores sin vacío, así como su estabilidad en el caso de que los tubos receptores pierdan el vacío.

Para evaluar la viabilidad de la preparación del absorbente selectivo sobre los tubos de los colectores cilindroparabólicos, se han preparado tubos de 500 mm de largo y 70 mm de diámetro en la planta piloto del CIEMAT. Se ha

constatado que no existe ninguna limitación en la deposición de las películas en muestras grandes y se han obtenido películas homogéneas y con buenas propiedades ópticas.

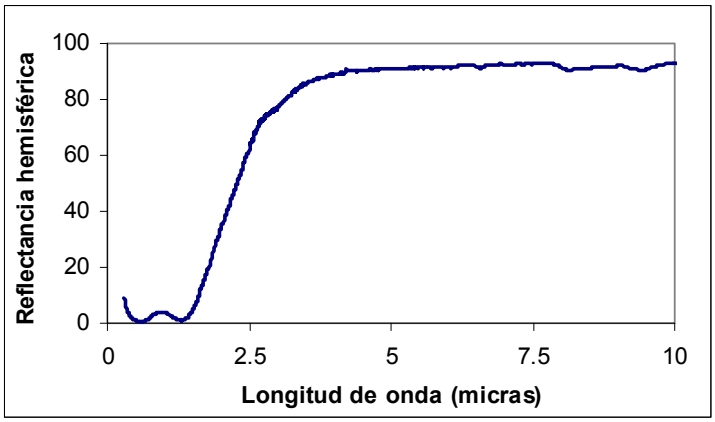


Figura 3.3 Espectro completo del absorbente selectivo desarrollado en el CIEMAT

A finales del año 2009, se ha presentado una nueva patente Española de invención, que supone una importante simplificación en el proceso de deposición de las películas del absorbente selectivo. El sistema consiste en un sencillo dispositivo que evita la preparación de grandes volúmenes de solución precursora, en la que se introduce el tubo en el sistema de *dip-coating* tradicional. Esta patente se ha realizado en colaboración con la Escuela de Ingenieros Industriales de Madrid.

Tambien se han iniciado los estudios encaminados a la reducción del número de capas del absorbente, desde el valor actual de seis capas, hasta un valor final de cuatro capas, con el objetivo de hacerlo más competitivo industrialmente. Los primeros resultados obtenidos son prometedores para conseguir eliminar una de las capas del absorbente, manteniendo las propiedades ópticas del conjunto. Una vez que se reduzcan el número de capas será necesario evaluar la durabilidad térmica del nuevo absorbente y ajustar espesores para optimizar la estabilidad térmica.

Recubrimientos selectivos para baja temperatura

Las actividades llevadas a cabo en los años 2008 y 2009 en relación con un absorbente de baja temperatura se han centrado en la preparación de muestras de 30 x 30 cm^2, con el fin escalar el proceso de depósito del mismo. Para preparar el absorbente se eligió la configuración de tres capas (Al/CuMnSiOx/ CuMnOx/SiO_2), que ya se ha visto que da buenos resultados en términos de propiedades ópticas y durabilidad.

Se prepararon varias muestras de 30 x 30 cm^2 algunas las cuales se dividieron en 100 trozos para medir en cada una el espectro de reflectancia y obtener así un mapa de absortancias. En la Figura 3.4, se recoge el mapa de una de estas muestras junto con el correspondiente histograma de valores. El intervalo de absortancia está entre α_S = 0.925 y 0.955 y la escala de color es de 0.005.

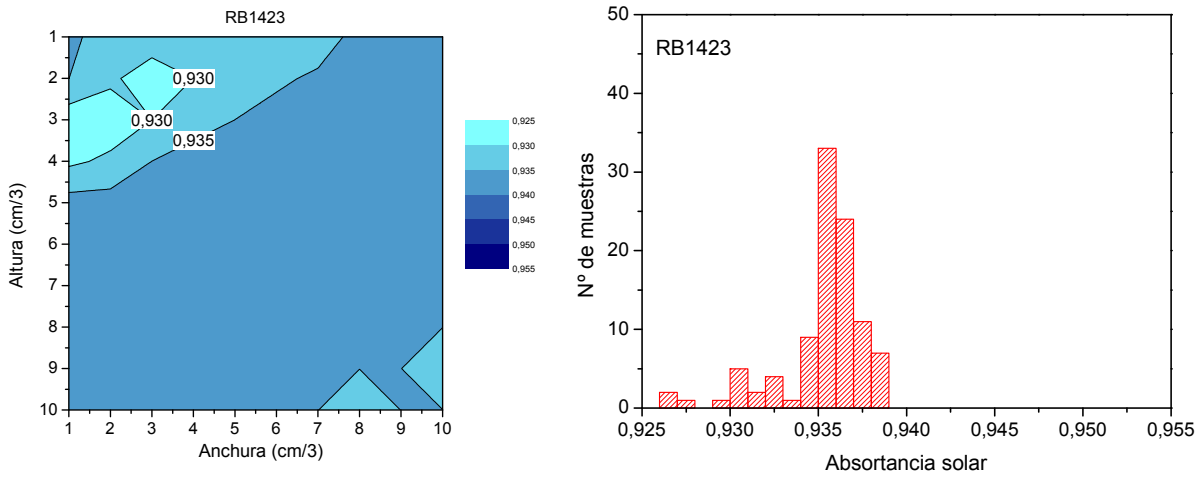


Figura 3.4 Mapa de absortancia para una muestra de absorbente de 30 x 30 cm^2 (izquierda) junto con histograma correspondiente (derecha).

Como se puede ver, la homogeneidad de las propiedades ópticas es muy buena, sobretodo teniendo en cuenta que en nuestro laboratorio no es fácil controlar las condiciones ambientales. Aun así, el valor medio de absortancia para esta muestra es 0.935 con una desviación estándar de ±0.003. Por otro lado, también vemos que los valores de absortancia que aparecen en el mapa son menores que los esperados para un absorbente de tres capas (i. e. 0.95). Esto es debido a que para obtener los mapas no se cogieron las mejores muestras pues ello implicaba el trocearlas. Con lo que se prefirió mantener las mejores muestras con su tamaño original.

Publicaciones: [3.3], [3.4]

Recubrimientos Anti-reflexivos para vidrio

Participantes: CIEMAT-PSA (E), Empresas privadas españolas y europeas
Contacto: Angel Morales, angel.morales@ciemat.es
Presupuesto total: 320.000 €.
Duración: Enero, 2008 - Diciembre, 2011

Motivación: La transmisividad espectral media ponderada de los vidrios utilizados normalmente en aplicaciones solares es de aproximadamente un 92%. Cualquier aumento en la transmisividad solar de estos vidrios conlleva un aumento de la misma magnitud en la energía térmica útil suministrada por el captador solar. Mediante recubrimientos anti-reflexivos aplicados en ambas caras de los vidrios se puede aumentar su transmisividad a la radiación solar hasta valores ligeramente superiores al 96%, lo que significa un aumento superior al 4% en la energía térmica útil entregada por el captador solar. Por otro lado, la fabricación de recubrimientos anti-reflexivos no es cara, por lo que no penaliza la viabilidad comercial del captador. Estas cifras ponen claramente de manifiesto el gran beneficio que supone al aplicación de recubrimientos anti-reflexivos en los captadores solares. CIEMAT-PSA ha desarrollado recubrimientos anti-reflexivos basados en la técnica del Solgel que poseen unas propiedades excelentes, por lo que se patentó el procedimiento de fabricación de dicho recubrimiento. Aunque existen ya en el mercado recubrimientos anti-reflexivos comerciales, la durabilidad y resistencia mecánica de los mismos es claramente mejorable, y supone un importante reto de I+D.

Objetivos: el desarrollo de un recubrimiento anti-reflexivo mediante Sol-gel que posea una buena durabilidad en intemperie, resulte fácil de fabricar y aumente de forma significativa la transmisividad solar de los vidrios usados en los captadores solares.

Actividad y resultados en 2008 y 2009: En los años 2008 y 2009 se ha trabajado en el escalado del proceso de deposición de películas antirreflectantes desarrolladas en el CIEMAT en años anteriores. Así, se ha pasado de depositar películas en substratos planos de 70x40 mm, a recubrir tubos de vidrio de diámetro interior 10,4 cm y diámetro exterior 11 cm, que son las medidas utilizadas en las cubiertas de vidrio comerciales de los colectores cilindro parabólicos. La longitud de los tubos era de 500 mm. Como se puede observar en la fotografía, el escalado del proceso se ha realizado con éxito, habiéndose obtenido recubrimientos con las mismas propiedades que los desarrollados a escala de laboratorio. Asimismo, la homogeneidad a lo largo del tubo es muy elevada. La parte superior del tubo corresponde al vidrio sin recubrir, pudiéndose observar claramente el efecto antirreflectante en la zona recubierta.

En el año 2009, se han firmado dos Preacuerdos de explotación de la patente de los recubrimientos antirreflectantes sobre tubos de vidrio y se han realizados pruebas en plantas piloto para tubos de 4 metros de longitud, con excelentes resultados. Se han fabricados tubos de vidrio con una transmitancia de 0,96 en el espectro solar y se ha comprobado la viabilidad del empleo de la técnica sol-gel y la formulación patentada por el CIEMAT, para la preparación, a escala industrial, de las películas antirreflectantes para las cubierta de vidrio de los tubos absorbedores de colectores cilindro parabólicos.

Por otro lado, se ha continuado con los ensayos de durabilidad de las películas con resultados muy satisfactorios ya que después de dos años de exposición a intemperie, se han obtenido valores de transmitancia solar de 0.96, sin haberse observado ninguna degradación de los recubrimientos (Figura 3.6).

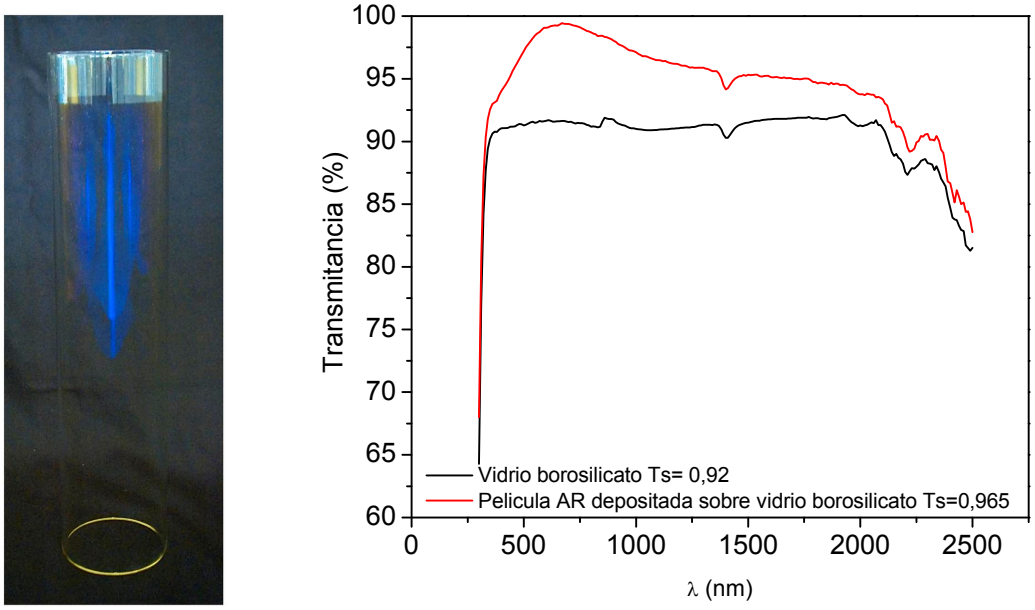


Figura 3.5 Fotografía de un tubo de vidrio borosilicato recubierto con la película antirreflectante y espectros de transmitancia del vidrio sin recubrir y recubierto con la película AR.

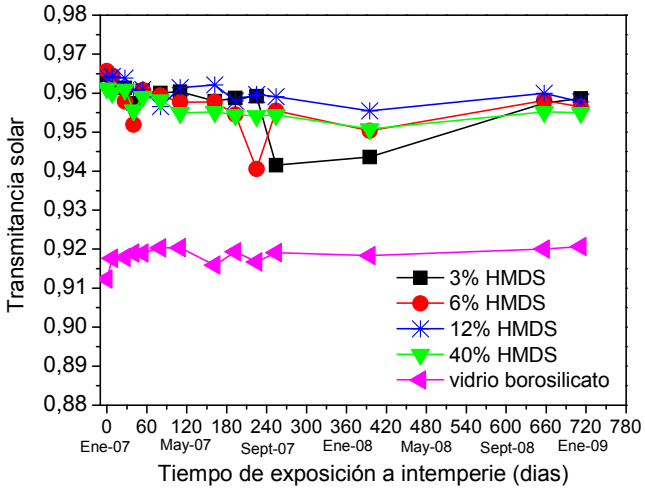


Figura 3.6 Ensayo de durabilidad a intemperie para el vidrio borosilicato sin recubrir y recubierto con la película AR desarrollada en el CIEMAT.

Dado que la radiación solar incide sobre el receptor solar a distintos ángulos de incidencia, se han realizado medidas de transmitancia a distintos ángulos para evaluar la influencia de este parámetro. Como se puede observar en la Figura 3.7, la aplicación de la película AR aumenta la transmitancia solar del vidrio para todos los ángulos de incidencia, siendo además este aumento mayor para ángulos de incidencia mayores. Así la mejora para ángulos de incidencia 0º es del 4% mientras a 75º, se obtiene un aumento de la transmitancia solar del 8%. Estos resultados ponen de manifiesto la importancia de los recubrimientos antirreflectantes para la mejora de la eficiencia de los colectores solares.

Publicaciones: [3.5]-[3.7]

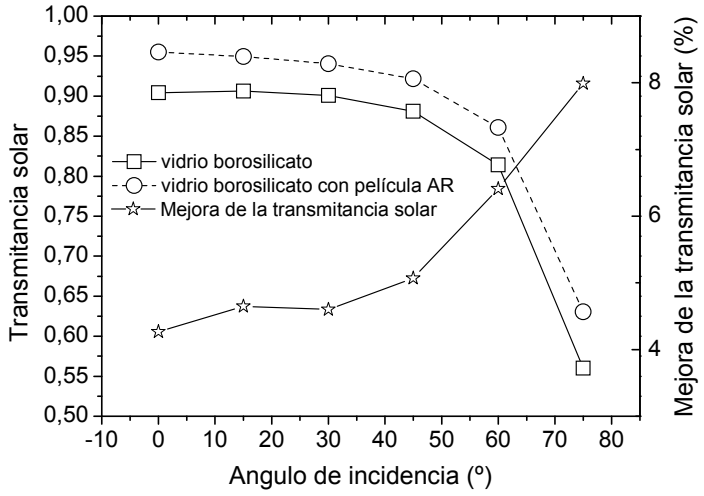


Figura 3.7 Transmitancia solar en función del ángulo de incidencia para el vidrio borosilicato sin recubrir y recubierto con la película AR desarrollada en el CIEMAT.

3.2.4 CAPSOL - Captador solar cilindroparabólico para aplicaciones térmicas hasta 250ºC

Participantes: Ciemat, Universidad de Almería, Composites-Sol
Contacto: Aránzazu Fernández, arantxa.fernandez@psa.es
Presupuesto total: 235 k€
Duración: Mayo 2008 – 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 ºC, 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 110ºC 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 detoxificación o generación de electricidad mediante Ciclos Rankine Orgánicos.

Objetivos: El objeto de este proyecto de investigación aplicada es el diseño, fabricación, evaluación y comercialización de un captador solar cilindroparabólico para producir energía térmica a temperaturas hasta 250ºC que cubra la demanda en procesos industriales o en acondiciamiento de edificios y para los que, actualmente, no existen soluciones comerciales que presenten una adecuada relación coste-eficiencia y que aprovechen el uso de la energía solar. Para la consecución de dicho objetivo fundamental se establecen los siguientes objetivos 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 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.

Logros alcanzados en 2008 y 2009: Como continuación de la actividad desarrollada en años anteriores por el CIEMAT en el ámbito del proyecto interno FASOL, a principios de 2008 se consiguió la financiación del Ministerio de Ciencia e Innovación, dentro de la convocatoria de Proyectos de Investigación Aplicada Colaborativa, naciendo el proyecto CAPSOL (referencia CIT-440000-2008-5).

En el año 2007 se realizó el diseño conceptual del nuevo captador solar, mediante la determinación tanto de la configuración geométrica más adecuada, como de los parámetros geométricos asociados a la misma. Una vez finalizada la fase inicial de diseño llevada a cabo en el año 2007, en el 2008 se

acometieron las tareas de fabricación de los primeros prototipos y de construcción de una instalación de ensayos para evaluarlos.

La fabricación de los dos primeros prototipos, denominados CAPSOL-01, se llevó a cabo por parte de la empresa Composites y Sol S.L. con el asesoramiento técnico del personal del CIEMAT, a partir de los resultados obtenidos en la fase de diseño. Para ello, se procedió a la selección de los componentes comerciales que cumplían las especificaciones técnicas definidas (tubo absorbedor metálico con superficie selectiva, cubierta de vidrio tubular, cubierta de vidrio plana y reflector) y al desarrollo de aquellos componentes del captador para los que no existen soluciones comerciales (concentrador cilindro-parabólico a base de materiales compuestos y elementos de unión entre componentes).

Dada la importancia de la calidad óptica del concentrador, en el año 2008 se evaluaron geométricamente en la PSA mediante fotogrametría tanto el molde como el primer concentrador fabricado. A la vista de los resultados satisfactorios obtenidos, se procedió al montaje de los captadores mediante el ensamblaje de todos los componentes, y se detectaron una serie de mejoras a implantar en los siguientes prototipos. La Figura 3.8 (izquierda) muestra una fotografía de uno de los prototipos fabricados.

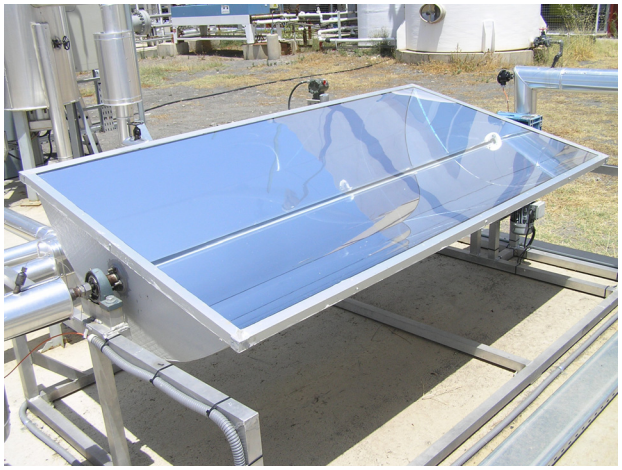


Figura 3.8 Prototipos CAPSOL-01 (izquierda) e instalación de ensayos CAPSOL (derecha)

En cuanto al diseño y la construcción de la instalación de ensayos, estas actividades fueron llevadas a cabo íntegramente por el CIEMAT en el año 2008. El principal criterio que se siguió fue el de disponer de una instalación que permitiera realizar los ensayos con la máxima precisión posible, por lo que se instaló instrumentación de alta precisión y equipos de elevada calidad. La planta de ensayos, ubicada en la PSA, se diseñó para utilizar agua presurizada como fluido de transferencia de calor, en unas condiciones máximas de operación de 25 bar de presión y unos 230ºC de temperatura. Esta planta de ensayos permite no sólo obtener los parámetros de rendimiento de los captadores, sino también analizar aspectos técnicos bajo condiciones reales de operación, tales como durabilidad de los materiales, resistencia estructural, ensamblaje de los componentes, estanqueidad de los captadores, etc. En la Figura 3.8 (derecha) se puede ver una fotografía de la instalación montada en la PSA en el año 2008.

En el primer trimestre de 2009 el CIEMAT realizó la puesta en marcha de todos los equipos, instrumentación y sistema de adquisición de datos de la instalación de ensayos CAPSOL construida en el 2008, así como del sistema

de seguimiento de las dos primeras unidades del primer prototipo de captador CAPSOL-01 instalados en ella. Una vez que todos los sistemas funcionaban correctamente, se procedió a realizar la campaña de ensayos de esos dos captadores.

Durante la campaña de ensayos se realizaron un gran número de experimentos para determinar los parámetros básicos de funcionamiento de los captadores: constante de tiempo, rendimiento óptico-pico, pérdidas térmicas, y modificador por ángulo de incidencia. Además, durante la realización de los ensayos se detectaron una serie de posibles mejoras a implementar en los siguientes prototipos CAPSOL.

En los últimos meses del año 2009, Composites y Sol procedió a la fabricación y montaje de dos unidades de los segundos prototipos, CAPSOL-02, incorporando las mejoras propuestas a la vista de los resultados obtenidos, tanto de las pruebas de fotogrametría como de los ensayos de rendimiento. Estos nuevos prototipos también se evaluaron en la PSA mediante fotogrametría, obteniéndose resultados muy satisfactorios, ya que la mejora propuesta en función de los datos de fotogrametría de los primeros prototipos y del molde aumentó considerablemente el factor de interceptación de los captadores.

Los dos prototipos CAPSOL-02 se instalaron en el banco de ensayos de la PSA a finales de 2009 y serán evaluados en los primeros meses del año 2010.

Publicaciones:[3.8]-[3.10]

3.2.5 Fluidos de trabajo innovadores para Colectores Cilindro Parabólicos

Participantes: CIEMAT, Universidad Politécnica de Madrid
Contacto: Eduardo Zarza, eduardo.zarza@psa.es
Presupuesto total: 950.000€.
Duración: Diciembre, 2005 - Diciembre, 2011

Motivación: La tecnología de colectores cilindro parabólicos es la que en la actualidad está comercialmente más desarrollada para plantas solares termoeléctricas, con más de 3,5 millones de metros cuadrados de colectores en operación rutinaria a fin ales del año 2009, y con una potencia eléctrica nominal superior a los 500 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 solares utilizados en estas plantas. Hasta el momento todas las plantas comerciales usan aceite térmico como fluido de trabajo, pero dicho aceite posee claros inconvenientes. Algunos de estos inconvenientes que lleva asociado el aceite térmico son: riesgo de contaminación medioambiental en caso de fugas, riesgo de incendios y limitación de la temperatura máxima que se puede alcanzar en el campo solar. Puesto que para evitar estos problemas es necesario reemplazar al aceite térmico actual, se están proponiendo en la actualidad tres posibles sustitutos: agua/vapor, sales fundidas o gases a presión. Para poder averiguar cual de estos posibles candidatos resulta ser la mejor opción es necesario estudiarlos todos bajo condiciones reales de operación.

Objetivos: el estudio experimental del uso de gases a presión como fluidos de trabajo para colectores cilindro-parabólicos, evaluando su comportamiento bajo diversas condiciones reales de operación y analizando sus ventajas e inconvenientes frente al aceite térmico utilizado actualmente y frente a otros posibles fluidos de trabajo innovadores. La consecución de este objetivo final se plantea a partir de dos objetivo parciales: 1) 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, y 2) el estudio experimental bajo condiciones solares reales usando diversos gases a presión como fluido de trabajo en lel lazo de ensayos construido en la PSA. Las actividades del CIEMAT dentro de este proyecto están dirigidas por el Prof. Carlo Rubbia.

Actividades y resultados en 2008 y 2009: Una vez que se concluyó a finales del año 2007 la construcción en la PSA del lazo de ensayos requerido para poder llevar a cabo el estudio experimental de gases a presión como fluidos de trabajo en colectores cilindro parabólicos (ver informe anual de la PSA del 2007), el año 2008 y la primera mitad del año 2009 se han dedicado a llevar a cabo dichos experimentos, utilizando CO_2 a presión como fluido de trabajo. La Figura 3.9 muestra una vista general del lazo de ensayos de la PSA implementado para este fin en el año 2007.

Figura 3.9 Vista del lazo experimental de la PSA usado en 2008 y 2009 para investigar el uso de gases a presión en colectores cilindro parabólicos.

Entre los resultados experimentales obtenidos cabe destacar los siguientes:

- Los dos colectores que componen el lazo experimental han sido operados en configuración serie y en paralelo. Se ha comprobado que la temperatura del gas a la salida de ambos colectores cuando se operan en configuración paralelo es fácilmente mantenida, pero el caudal de gas es demasiado bajo y podría poner en peligro la integridad de los tubos absobedores si ocurren transitorios fuertes de radiación solar, ya que la refrigeración de los tubos podría ser insuficiente. Por este motivo, tras realizar algunos ensayos en paralelo se decidió continuar con los ensayos solo en configuración serie
- Con la configuración serie, la temperatura del gas a la salida del lazo se mantienen muy bien dentro del rango 400ºC±5ºC, incluso con importantes transitorios de radiación solar. La Figura 3.10 muestra los resultados experimentales obtenidos el día 2 de julio de 2009. En esta figura se ve como el sistema de control implementado en el lazo mantiene

bien la temperatura del gas (línea de color rojo) incluso con los transitorios de radiación solar directa (línea de color amarillo)

- El tiempo requerido para alcanzar condiciones nominales tras el arranque del lazo es bastante largo (más de 1 hora), pero en una planta comercial seria bastante menor debido a que en el lazo experimental hay una longitud elevada de tuberías pasivas.
- Las juntas rotativas con sello de grafito presentan importantes fugas de gas tras un corto periodo de funcionamiento, debido a un debilitamiento del sello de grafito. Aunque existen diversas hipótesis para explicar dicho debilitamiento, no se ha podido demostrar aún ninguna de ellas. Pero parece claro que las juntas rotativas del mismo tipo que las usadas en las plantas con aceite térmico no resultan factibles para campos con CO_2 a presión.
- Se han ensayado juntas rotativas, del tipo ball-joint, de diversos fabricantes, todas ellas con sello de grafito, y todas han presentado el mismo problema de fugas tras un corto espacio de tiempo. Este resultado ha puesto de manifiesto que para campos solares con CO_2 a presión es necesario el uso de uniones de otro tipo. En este sentido se han establecido acuerdos de colaboración con diversas empresas para desarrollar uniones diferentes a las juntas rotativas del tipo ball-joint
- Es muy importante la optimización del lay-out de las tuberías y los diseños de los diversos equipos que componen el circuito de gas a presión, para reducir al mínimo posible la caída de presión en el mismo.

A finales del año 2008 se inició el diseño de la modificación del lazo de ensayos de la PSA para aumentar su temperatura de operación hasta los 525ºC, y se elaboraron las especificaciones técnicas para conectarle un pequeño sistema de almacenamiento térmico mediante sales fundidas, el cual permitirá operar el conjunto con ciclos de carga y descarga. Se espera que el sistema de almacenamiento mediante sales fundidas esté terminado para el otoño de 2010.

La modificación del lazo de ensayos de la PSA para gases con el fin de aumentar su temperatura de operación de 400ºC a 525ºC comenzaron en el

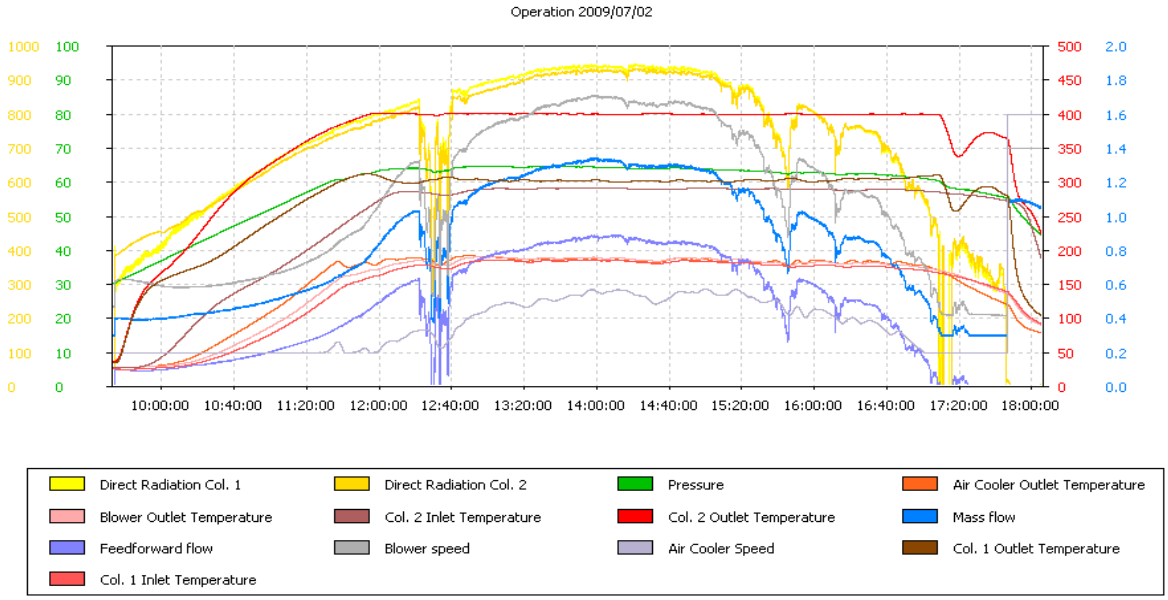


Figura 3.10 Resultados experimentales obtenidos el dia 2 de julio de 2009 con el control de la temperatura del gas a la salida del lazo de ensayos.

Otoño de 2009 y se prevé que estén concluidas en marzo de 2010.

Durante el año 2009, el CIEMAT ha realizado contactos con diversas empresas españolas para estudiar la posibilidad de construir una planta precomercial que utilice esta nueva tecnología que es encuentra en fase de experimentación en la PSA. Dicha planta permitiría validar la viabilidad técnica y económica del uso de gases a presión como fluido de trabajo en el campo solar con colectores cilindro-parabólicos de grandes plantas solares termoeléctricas.

Publicaciones: [3.11]

3.2.6 Caracterización y análisis de durabilidad de reflectores solares.

Participantes: CIEMAT y DLR
Contacto: Aránzazu Fernández García, arantxa.fernandez@psa.es
Presupuesto total: 400 k€
Duración: Enero 2009 – Diciembre 2012

Motivación: La motivación de este proyecto es el estudio de los materiales usados como reflectores solares, por ser éstos uno de los principales componentes de los sistemas solares de concentración. La fiabilidad y durabilidad que deben tener los reflectores usados en los sistemas solares de concentración hacen recomendable que sean previamente ensayados con el fin de conocer sus cualidades. La continua aparición en el mercado de nuevos tipos de reflectores hace necesario disponer de un laboratorio equipado con instrumentos específicos para poder evaluar su comportamiento bajo diversas condiciones de trabajo, así como definir ensayos específicos para estos materiales

Objetivos: El objeto de este proyecto es la caracterización y el análisis de la durabilidad de los materiales reflectores usados en sistemas solares de concentración. Dentro de este objetivo general se incluyen los siguientes objetivos específicos:

- investigación de los procesos de degradación en los materiales ante las variables ambientales y su efecto en el rendimiento de los sistemas solares de concentración.
- obtención de ecuaciones físico-experimentales sobre la degradación de ciertos materiales reflectores de relevante importancia, que permitan predecir el comportamiento de los mismos a medio y largo plazo.
- determinación de posibles correlaciones entre los ensayos en condiciones aceleradas y la exposición de los materiales en condiciones reales a intemperie.
- establecimiento de las normas y protocolos que permitan la estandarización de los ensayos relacionados con reflectores para sistemas solares de concentración.
- realización de ensayos a las empresas que lo soliciten, en los casos en los que resulte conveniente para el desarrollo de los sistemas solares de concentración.

Logros alcanzados en 2009: En los primeros meses del año 2009 se llevaron a cabo los primeros pasos del proyecto, definiendo los participantes, objetivos y tareas del mismo. La primera tarea acometida consistió en la definición del equipamiento requerido para la consecución de los objetivos señalados y el diseño del laboratorio de ensayo de materiales reflectores en el que dicho equipamiento será ubicado. A continuación se procedió a la adquisición de la

mayoría de los equipos propuestos, haciendo uso para ello de una parte de la dotación del Plan E concedida a la PSA en el año 2009 para la mejora de sus infraestructuras y equipamiento científico.

En el laboratorio se realizarán las pruebas y medidas que permiten una completa caracterización de los materiales reflectores, determinando el valor de sus parámetros principales y el posible nivel de deterioro. Para ello se cuenta con un reflectómetro especular portátil, un microscopio 3D y un espectrofotómetro con esfera integradora (ver Figura 3.11 izquierda). Por otro lado, el laboratorio, una vez concluido, estará capacitado para realizar ensayos de envejecimiento acelerado de dichos materiales, aplicando de forma controlada, tanto por separado como en combinación, las variables ambientales que producen el deterioro de los reflectores cuando son expuestos a intemperie. El equipamiento adquirido en al año 2009 para tal fin está integrado por: cámara climática de temperatura, humedad, radiación solar y lluvia (ver Figura 3.11 derecha), cámara de niebla salina, cámara ultravioleta, hornos de mufla

Figura 3.11 Espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 1050 (izquierda) y cámara de ensayos climáticos Atlas SC340 (derecha) del laboratorio de ensayo de reflectores solares.

con y sin atmósferas especiales, y dispositivos para ciclos térmicos.

Asimismo, en 2009 se acometieron una serie de ensayos preliminares a diversos materiales reflectores, aplicándoles diferentes condiciones de envejecimiento acelerado. Gracias a estos ensayos se han obtenido numerosas conclusiones sobre la durabilidad de estos materiales y se ha avanzado en el establecimiento de los protocolos de ensayo adecuados para esta aplicación.

3.2.7 Almacenamiento térmico para plantas solares termoeléctricas

Participantes:	CIEMAT-PSA (España), Empresas privadas españolas y europeas, centros de investigaciones internacionales
Contacto:	Esther Rojas, esther.rojas@ciemat.es@ciemat.es
Presupuesto total:	3.2000.000 €.
Duración:	Mayo, 2008 - Diciembre, 2012

Motivación: Red Eléctrica Española consideraba en su informe "Información adicional necesaria para la evaluación del acceso a la red: valoración de gestionabilidad de centrales termosolares" del 26/07/2007 que este tipo de plantas habían de tener un almacenamiento de 4 horas para ser consideradas como gestionables. El conjunto de empresas promotoras de este tipo de plantas, así como los centros de investigación expertos en centrales termosolares –el Ciemat entre ellos-, mostraron el alto riesgo que tal exigencia suponía al existir aun en la actualidad muchas incertidumbres tecno-científicas asociadas a grandes sistemas de almacenamiento térmico; lo cual facilitó que en Marzo de 2008 la exigencia de almacenamiento se suavizara, transformándose en una posibilidad. Sabiendo de la temporalidad de esta consideración, es imprescindible que en un futuro cercano se solventen los aspectos técnicos más relevantes para asegurar un almacenamiento térmico fiable y competitivo para plantas solares termoeléctricas.

Objetivos: desarrollo y optimización de sistemas de almacenamiento térmico, eficaces y económicos para ser utilizados en centrales solares térmicas de producción de electricidad, principalmente, aunque no se descartan aplicaciones industriales con necesidades de calor de proceso.

Actividad y resultados en 2008 y 2009: las actividades realizadas en 2008 y 2009 sobre almacenamiento térmico para centrales termosolares se pueden agrupar en dos líneas de I+D:

a) *Diseño y optimización de componentes de sistemas de almacenamiento térmico.*

Se han analizado con gran detalle los resultados experimentales de un prototipo de almacenamiento con cambio de fase (PCM), de 100kW y sales de nitratos, que fue ensayado en la PSA en 2007. Este análisis ha permitido identificar posibles mejoras tanto en el diseño, fabricación y evolución de futuros prototipos basados en este concepto. Se han identificado, asimismo, las deficiencias o limitaciones que los actuales modelos analíticos proponen para la simulación de este tipo de almacenamientos en calor latente.

Para sistemas de almacenamiento con sales fundidas y sistema de doble tanque, se ha realizado un estudio del comportamiento termohidráulico de diferentes modelos de intercambiador de calor sales/aceite por medio de programas CFC comerciales. Se ha identificado el diseño más seguro y eficaz en términos de menores zonas muertas y mejor transferencia de energía. Este diseño se ha estudiado en detalle, proponiéndose una serie de estrategias para reducir y manejar el riesgo asociado a las zonas con más probabilidad de solidificación de las sales así como a las que, por erosión, puedan estar sometidas a mayores tensiones. Este estudio ha sido realizado al amparo del proyecto CENIT, ConSOLida (consorcio Solar de I+D)

b) *Evaluación experimental de componentes, equipos y procedimientos.*

Hasta la fecha, la experiencia en la caracterización y evaluación de componentes y procesos de carga/descarga es bastante reducida, limitada a unos pocos componentes particulares y a almacenamientos conectados a sistemas solares de receptor central (la mayor parte de las plantas termosolares actualmente en promoción y construcción son con captadores cilindro parabólicos, por lo que las condiciones de operación son diferentes). Las empresas promotoras e ingenierías para plantas termoeléctricas encuentran que las especificaciones de los componentes a utilizar no encajan con las condiciones esperadas de operación en sistemas de almacenamiento térmico mediante sales fundidas, por lo que necesitan comprobar cuál es su comportamiento. No existe, además, ningún procedimiento estándar para dicha caracterización, sino que cada laboratorio internacional que en algún momento ha hecho algo

del estilo ha aplicado su propia metodología. Para ayudar a resolver estos problemas el Ciemat ha diseñado y está construyendo en la PSA, gracias a fondos nacionales del Plan E, una planta experimental para almacenamiento térmico mediante sales fundidas (Figura 3.12). Se trata de un sistema en donde se pueden ensayar componentes, equipos, así como estrategias de operación y control para sistemas de almacenamiento térmico en sales. La planta está diseñada para que pueda ser alimentada con una fuente de energía tanto de media como de alta temperatura. Los componentes de esta planta son lo suficientemente grandes para que los resultados sean aplicables a centrales eléctricas comerciales, y lo suficientemente flexibles para que se cubra un amplio abanico de posibilidades de investigación

Esta planta estará complementada con un laboratorio y un lazo dinámico de ensayo de materiales en contacto con sales.

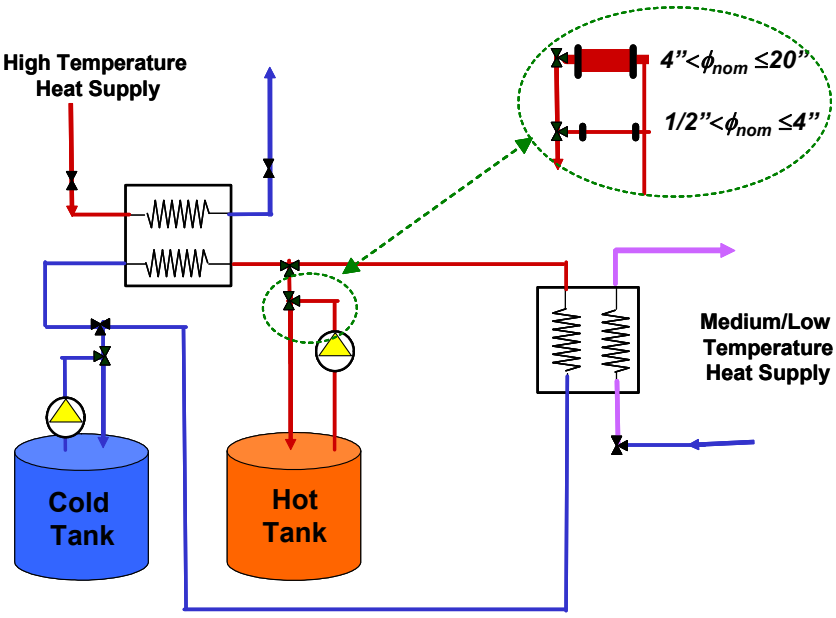


Figura 3.12 Esquema de la Planta de Ensayos de Almacenamiento Térmico para Centrales Termosolares que se va a instalar en la PSA

La caracterización de componentes y equipos para sistemas de almacenamiento es un tema importante y crítico para las ingenierías y empresas promotoras de plantas termoeléctricas. Con dichas entidades la Unidad de Sistemas de Concentración Solar mantiene un estrecho contacto, lo cual ha permitido que en Mayo de 2009 se firmara un acuerdo de colaboración entre 11 empresas y el Ciemat para la evaluación de la compatibilidad de materiales estructurales con sales fundidas en sistemas de almacenamiento térmico, a realizar por la División de materiales estructurales del Ciemat.

La necesidad de establecer los procedimientos adecuados de caracterización de componentes hidráulicos y equipos para sales fundidas ha sido reconocida por otros centros de investigación, tanto nacionales como internacionales. Así, Ciemat participa, junto con otros centros de investigación solar, en el proyecto europeo SFERA, del 7º Programa Marco, cuyo objetivo general es la estandarización de las metodologías de caracterización de componentes para plantas termoeléctricas, incluyendo entre ellos el sistema de almacenamiento térmico. El Ciemat también participa en el comité ASME para plantas

termosolares (PTC-52) y en el comité nacional para estandarización de componentes de plantas termosolares. En ambos hay un grupo de trabajo específico para almacenamiento térmico.

Publicaciones: [3.12]

3.2.8 Otras actividades del Grupo de Media Concentración en 2008 y 2009

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 los años 2008 y 2009 otras actividades, como son:

- Mejora del software de modelado y simulación para plantas solares termoeléctricas con colectores cilindro parabólicos y generación directa de vapor, utilizando el entorno de programación Matlab.
- 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 los años 2008 y 2009 en relación con estos temas.
- Diseminación 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 las tres ediciones del Curso sobre "Sistemas Solares de Concentración" impartido en Madrid en los años 2008 y 2009.
- Asesoramiento a promotores, fabricantes de componentes y equipos e ingenierías involucrados en la tecnología de colectores cilindro parabólico. El número de empresas españolas y extranjeras interesadas en esta tecnología ha seguido creciendo de forma importante durante los años 2008 y 2009. La motivación para este gran interés es la prima establecida por el RD 2007/661 para la electricidad generada por las plantas solares termoeléctricas. Esto ha hecho que haya empresas interesadas no solo en promover proyectos comerciales, sino también en la fabricación de algunos de los componentes principales (tubos absorbedores, reflectores solares, unidades motrices para el seguimiento solar, etc..). Siguiendo con la tendencia ya iniciada en los años 2006 y 2007, durante los años 2008 y 2009 han sido numerosas las empresas que han venido a la PSA para recabar información y asesoramiento. Dada la lógica limitación de recursos disponibles en el 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, como siempre, es nuestra intención seguir dando a las empresas el máximo apoyo que nos sea posible en este sentido.
- Una de las deficiencias mayores que está experimentando a nivel mundial el sector industrial relacionado con las plantas solares termoeléctricas es la falta de normas que definan las características técnicas que deben cumplir los diversos componentes y sistemas de este tipo de plantas, así como los procedimientos de caracterización, monitorización y evaluación que deben aplicarse a las mismas. Con el fin de solucionar esta deficiencia se han puesto en marcha diversas iniciativas en Estados Unidos y en Europa para elaborar dicha normativa. En Estados Unidos, ASME ha creado Grupos de Trabajo en los diversos temas relacionados con las plantas solares termoeléctricas (comité ASME PTC-52). Dentro de SolarPACES también ase están

dando pasos encaminados a la elaboración de normas en este mismo campo. A nivel de España, CTAER, CENER y CIEMAT han puesto en marcha, con la colaboración de AENOR, una actividad tendente a la elaboración de normas de ámbito nacional que den respuesta al vacío existente en la actualidad. En España, esta iniciativa contará también con el apoyo de PROTERMOSOLAR. La PSA está presente en todas estas iniciativas sobre estandarización, habiéndose incorporado en el año 2009 a los comités y Grupos Técnicos recientemente establecidos. Esta actividad ha empezado a dar sus primeros pasos en el año 2009 e irá tomando fuerza en los próximos años.

3.3 Grupo de Alta Concentración

Responsable: Félix M. Téllez Sufrategui
felix.tellez@ciemat.es

La actividad del Grupo de Alta Concentración solar se centra fundamentalmente en los sistemas de Receptor Central, pero incluye también actividades relacionadas con otros sistemas que permitan altos flujos solares como los Disco-Motor o los Hornos Solares. El despliegue comercial, en España, de plantas solares termoeléctricas de Receptor Central avanzó lentamente durante 2008-9 con la conexión de la planta PS-20 (de 20 MW_e) y el inicio de la construcción de Gemasolar (de 17 MW_e). No obstante se ha renovado el interés a nivel internacional (con proyectos en desarrollo en EE.UU. e Israel). Hasta la puesta en marcha de PS10, en plena explotación comercial desde marzo de 2007, 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, y 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 1000 kW/m^2), que permiten trabajar a altas temperaturas (entre 250 ºC y 1100ºC) 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.

A diferencia de la homogeneidad tecnológica que se observa en el actual despliegue de la tecnología de Colectores Cilindro Parabólicos, las plantas de Receptor Central ofrecen por un lado mayores eficiencias totales de conversión (asociadas a la operación con mayor concentración solar) y por otro una mayor diversidad de opciones de diseño, con menor experiencia acumulada en la implementación de cada tipología o componente. No obstante, 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 y de la percepción de riesgo asociado a la menor expe-

riencia comercial de esta tecnología resulta, por lo tanto, esencial para la extensión del número de aplicaciones comerciales.

Este objetivo de reducir los costes de producción de electricidad está orientando los esfuerzos de I+d, por un lado a mejorar las opciones existentes y por otro a demostrar la viabilidad de nuevas opciones de diseño, tales como: 1) la elección del fluido calo-portador y la temperatura de operación en receptor (optando entre agua-vapor, sales de nitrato o aire), 2) El tamaño óptimo de planta (optando entre campos de una sola torre y plantas multi-torre, que añaden modularidad en la construcción) asociado con soluciones de almacenamiento térmico y/o hibridación para hacerlas mas gestionables, 3) el compromiso de eficiencia/coste del campo concentrador (optando entre dos tendencias opuestas: helióstatos de mayor tamaño, - entorno a 100 m^2 y mas-, con buena calidad óptica y menos coste específico de los dispositivos de seguimiento; o helióstatos pequeños - entono a 10 m^2- con mejor ocupación del terreno y posibilidad de moverlos en grupos).

Conscientes de la diversidad de opciones en competencia, sin que se tengan criterios claramente determinantes de elección, el Grupo de Alta Concentración Solar, GACS, 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 generar información que ayude a reducir las incertidumbres y analizar la viabilidad técnica de las diferentes opciones.

Durante 2008-9 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 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, PS20 o Eureka (con Abengoa Solar) o Solar Tres/Gemasolar (con Sener/Torresol).
- Participación en desarrollo de componentes para la tecnología de Receptor Central mediante la iniciativa o colaboración en proyectos nacionales (como CENIT-CONSOLIDA) o internacionales (como SOLHYCO).
- Mejora de las capacidades experimentales y procedimientos de calidad (con el inicio de proyecto internacional SFERA la continuación de actividades en el Laboratorio de Radiometría y alta temperatura y la puesta a punto de capacidades para envejecimiento acelerado con altos flujos solares y altas temperaturas)

3.3.1 Proyecto "SOLAR TRES: Molten Salt Solar Thermal Power 15 MW_e Demonstration Plant"

Participantes: SENER Ingeniería y Sistemas, S.A., GHER,S.A. y 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)

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

Duración: Diciembre 2002/Diciembre 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 térmca. El proyecto inicial de Solar Tres fue prediseñado de acuerdo al marco legal español aplicable en 2000. Durante el desarrollo del proyecto la legislación nacional en materia de energías renovables sufrió algunos cambios, y también se sucedieron algunos cambios relativos a los propios socios, que llevaron a la reorientación del proyecto y del consorcio promotor. Finalmente, en 2005 se consolidó el equipo, integrado totalmente por compañías europeas, y liderado por Sener. Paralelamente, Sener y el Ciemat firmaron un acuerdo para el desarrollo y análisis de un nuevo concepto de helióstato y de un prototipo de receptor de sales fundidas de mayor rendimiento térmico y capaz de operar con mayores cantidades de flujo sin comprometer su durabilidad.

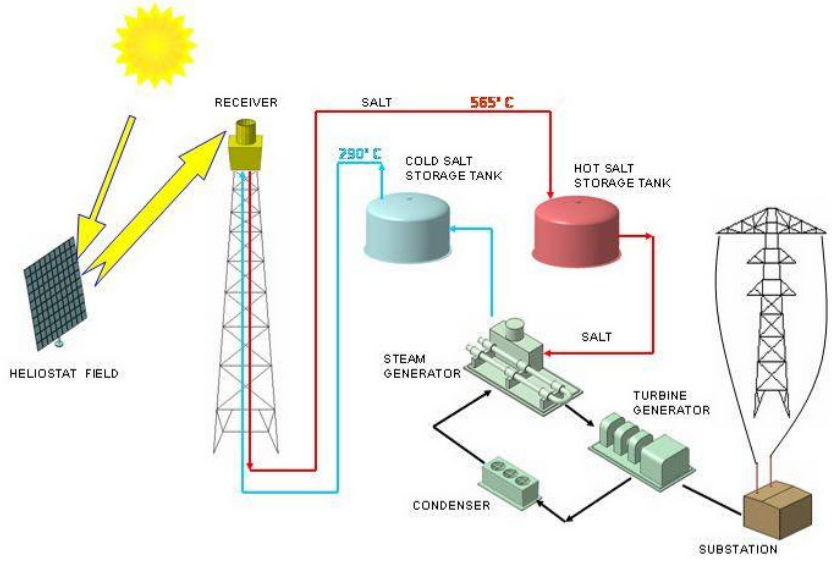
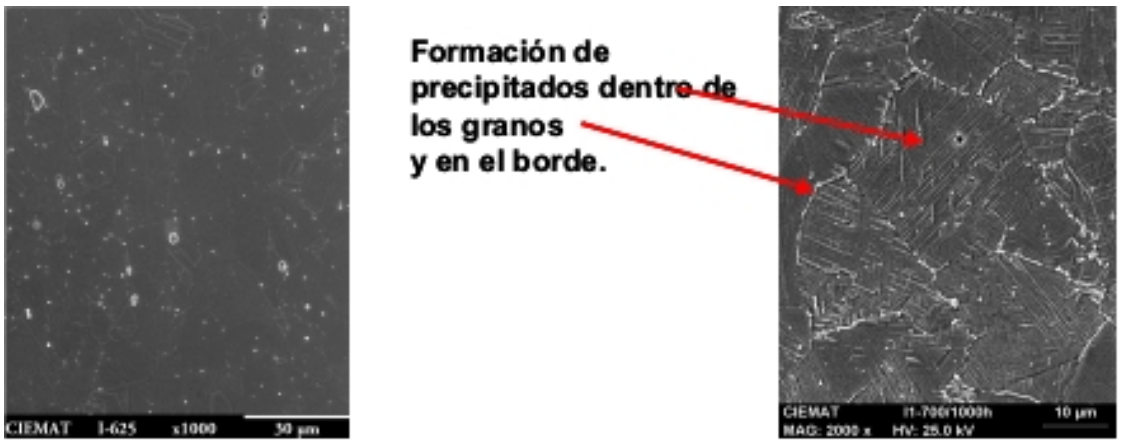


Figura 3.13 Esquema funcionamiento de Planta Solar Tres/Gemasolar

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. Entendido como un proyecto de demostración, la financiación de la CE permite impulsar la ingeniería y construcción de la planta (finalmente denominada Gemasolar) así como validar algunas opciones tecnológicas, mejoradas respecto al precedente Solar Two, incluidas en el diseño, tales como el receptor y otros equipos asociados a la operación con sales fundidas.

Logros en 2008-2009: La actividad del GACS en la última fase del proyecto se centró en la asesoría para elección de materiales del receptor solar, mediante campañas de ensayo y caracterización de opciones. Durante el periodo 2008-2009 se finalizaron los ensayos en laboratorio realizados en condiciones simuladas de operación de los receptores solares de torre refrigerados por sales fundidas, con distintas aleaciones metálicas, seleccionadas como adecuadas a



a) Estado de recepción b) Tras 2000 horas a 700ºC

Figura 3.14 Efecto del envejecimiento térmico. Aspecto por microscopía electrónica de barrido de la microestructura de una de las aleaciones ensayadas.

este uso debido a su composición y sus propiedades mecánicas. Estos ensayos incluyeron el estudio de la evolución de la microestructura y del comportamiento mecánico debido al envejecimiento térmico por exposición a alta temperatura, junto con la influencia de la composición del fluido calo portador, en este caso mezclas al 60:40 de $NaNO_3/KNO_3$, de diferente pureza. Los ensayos realizados fueron: envejecimiento térmico en aire 600, 650 y 700ºC, caracterización mecánica en aire a temperatura ambiente y 600ºC, de los materiales en estado de recepción y envejecidos térmicamente, corrosión en mezclas de nitratos a 550 y 565ºC y corrosión bajo tensión (SCC) en sales fundidas, a 550ºC, utilizando probetas U-bend con soldadura. A distintos tiempos acumulados de ensayo y una vez acabados se utilizaron para el examen de las probetas, distintas técnicas como microscopía óptica, microscopía electrónica de barrido (SEM) y análisis por energía dispersiva de rayos X (EDX).

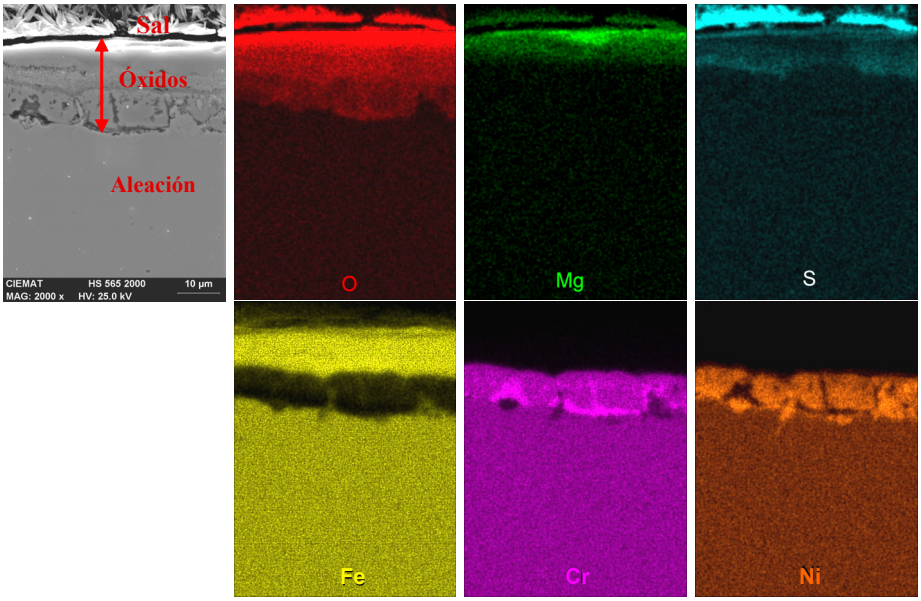


Figura 3.15 Mapping de rayos X. Distribución de elementos en la película de óxidos formada en la superficie de la aleación en contacto con el fluido calo portador. Efecto de la presencia de impurezas de Mg y S en las sales

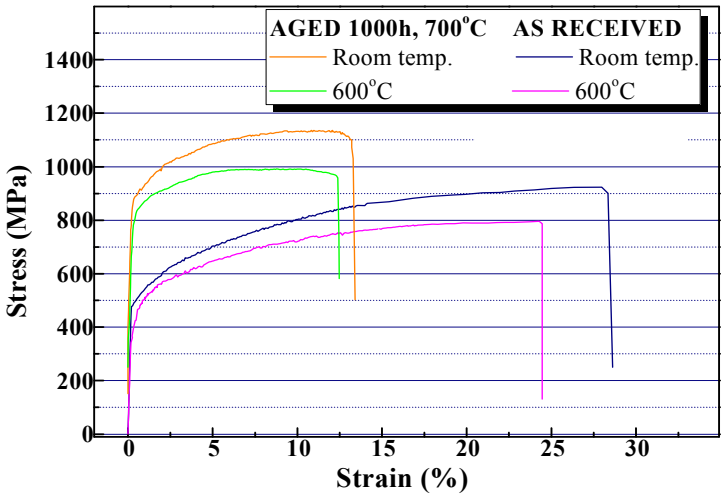


Figura 3.16 Efecto del envejecimiento térmico. Influencia en el comportamiento mecánico

Los resultados obtenidos han permitido establecer comparaciones entre el comportamiento de las distintas aleaciones y tener criterios para seleccionar el material más adecuado para su uso como absorbente en las centrales solares termoeléctricas de receptor central que utilicen nitratos fundidos como refrigerante

Publicaciones: [3.13], [3.14]

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

Participantes: SENER Ingeniería y Sistemas, S.A., CIEMAT-PSA; [Ciemat participa en este proyecto desde dos Divisiones: a) CIEMAT-PSA, b) CIEMAT- División de Materiales Estructurales].
Contactos: Juan Ignacio Burgaleta (ignacio.burgaleta@sener.es); Félix M. Téllez (felix.tellez@ciemat.es)
Presupuesto: 7M€, aportados por Sener, Ciemat y CDTI-PIIC.
Duración: 17 Nov. 2005 a 31 Dic 2007 (Extendido hasta Octubre de 2009)

Antecedentes: Durante 2004-2005, la empresa Boeing retiró su oferta de construcción del receptor para la planta Solar Tres, esto comprometía la continuación del proyecto dada la ausencia de una oferta comercial alternativa. Ante esta situación, Sener decidió abordar la ingeniería y desarrollo, por sí misma, del receptor de sales para Solar Tres. No obstante y de cara a reducir riesgos solicitó el apoyo de Ciemat para compartir el diseño y validación de un receptor de sales en tubo, abordando el diseño, construcción y ensayo de un panel receptor, previo a la fabricación del receptor de Solar Tres, formado por un conjunto de 16 paneles. En la segunda mitad de 2005, Sener y Ciemat firmaron un acuerdo de colaboración para validar la tecnología de receptor (con tecnología Sener-Ciemat), así como para la definición de estrategias de operación y control que permitan garantizar y alargar la vida de un receptor de sales fundidas, que será aplicado en centrales solares termoeléctricas (comenzando por GEMASOLAR).

A principios de 2007, El CDTI aprobó la inclusión del proyecto de Desarrollo del Receptor de Sales para su apoyo como Proyecto de Investigación Industrial Concertada, con duración hasta Diciembre de 2008, lo que permitirá au-

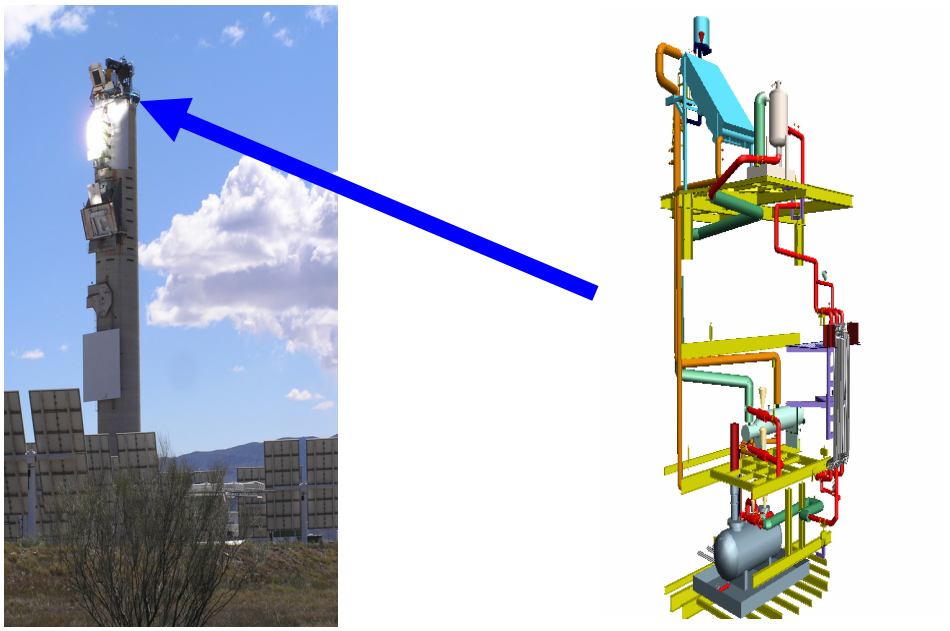


Figura 3.17 Panel Receptor de Sales durante ensayo en nivel 70 m de la Torre CESA1 y esquema del dispositivo experimental

mentar la fiabilidad y reducción de riesgos en el diseño de dicho receptor para la planta GEMASOLAR. Esta extensión se hizo efectiva hasta octubre de 2009 mediante un anexo al convenio de colaboración subscrito entre CIEMAT y SENER.

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

Logros en 2008-2009: Tras la fase inicial de ensayos, realizada en 2007, que condujo a SENER a decidir la promoción de la planta Gemasolar; se continuó con el plan de ensayos 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 y a fondos propios, se extendió hasta octubre de 2009.

Esta campaña adicional de ensayos a permitido simular condiciones reales de operación que sufrirán los módulos o paneles receptores que constituirán el receptor circular de la planta Gemasolar: todo tipo de transitorios en la radiación incidente, temperatura del panel, caudal de sales circulando por el panel, así como la exposición del panel a sobrecargas en la potencia incidente para analizar resistencia de materiales y durabilidad.

Aprovechando la instalación del lazo de sales, se han instalado nuevos componentes para realizar ensayos de congelación y fusión de sales, de manera que se gane confianza en la operabilidad y el control de dicho fluido. Al mismo tiempo, se han realizado ensayos de válvulas e instrumentación que permita abaratar costes de instalación de futuras plantas además de aumentar la durabilidad de dichos componentes.

3.3.3 Investigación, Innovación y Desarrollos para la planta de torre central Gemasolar.

Participantes: GEMASOLAR, CIEMAT-PSA, TeKniker
Contactos: Juan Ignacio Burgaleta (ignacio.burgaleta@sener.es); Jesús Fernández-Reche (jesus.fernandez@psa.es)
Financiación: CDTI-TORRESOL. (Acuerdo GEMASOLAR/CIEMAT). 405 k€.
Duración: Agosto de 2009 a Diciembre de 2011

Antecedentes: Los buenos resultados obtenidos durante la construcción, ensayo y evaluación del prototipo de receptor de sales fundidas para el proyecto Solar Tres, realizados en acuerdo de desarrollo entre Sener y CIEMAT, con el apoyo del CDTI, resultaron determinantes para el lanzamiento definitivo de GEMASOLAR: una planta de torre central de 17 MW_e con sales fundidas como fluido refrigerante y almacenamiento térmico, promovido por Torresol Energy en Ecija (Sevilla).

Objetivos: Los objetivos del actual proyecto financiado por el CDTI se concentran ahora en los siguientes puntos: i) Acompañar a Torresol Energy en la instalación, puesta en marcha y operación de la planta GEMASOLAR; ii) Predicción y seguimiento de datos meteo en el enclave de GEMASOLAR (ecija-Sevilla), iii) Ensayos en la PSA de nuevos materiales y conceptos de aislamiento térmico para su posterior instalación en GEMASOLAR; iv) Diseño, ensayo y validación (en colaboración con Tecniker) de un nuevo radiómetro de bajo coste para flujos solares incidentes superiores a 1000kW/m^2; v) Ensayos de componentes para ser empleados en sistemas de sales fundidas: válvulas, bombas, tuberías, sensores, etc.; vi) Envejecimiento acelerado y ensayos de durabilidad de materiales sujetos a altos flujos solares incidentes y a ciclos térmicos de calentamiento/enfriamiento.

Logros en 2008-2009: Debido a que el proyecto se inició en Agosto de 2009, no existen logros reseñables en la actualidad.

3.3.4 SolHyCo
(SOLar HYbrid power and COgeneration plants)

Participantes: DLR (Alemania, coordinador), Turbec (Italia), Ciemat (España), CEA (Francia), Ormat (Israél), Abengoa (España), FTF (Alemania), sonatrach (Argelia), GEA (Polonia), Vitalux (Brasil), e IIE (México)
Contacto: Peter Héller (peter.heller@dlr.de); Thörsten Denk (thorsten.denk@psa.es)

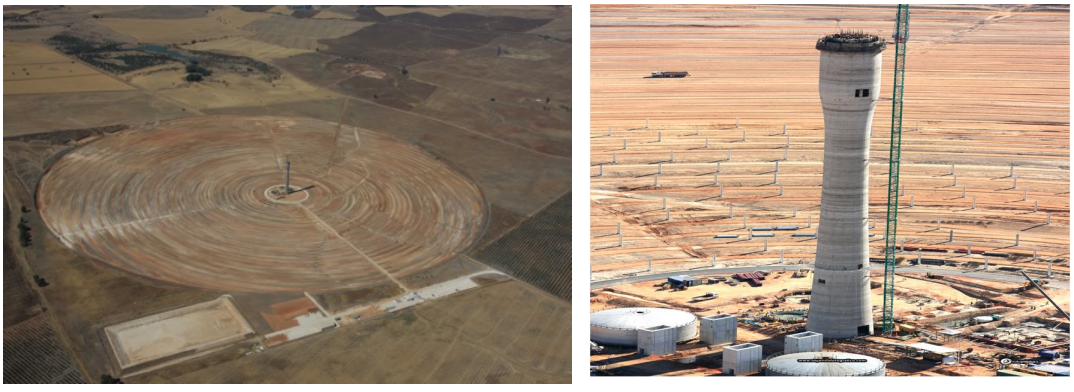


Figura 3.18 Estado actual de las obras de la planta GEMASOLAR

Financiación: Comisión Europea dentro del Sexto Programa Marco (nº Contrato 019830).
Total proyecto 3 M€; Participación Ciemat: 0.5 M€.
Duración: 1 de enero de 2006 y finalizará el 30 de junio de 2010

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).Esto tipo de sistemas solar-híbridos combinan energía solar con carburante fósil, pero sólo son 100% sostenibles si se utilizan bio-carburantes.

Objetivo**:** El objetivo principal de SolHyCo es el desarrollo de una microturbina solar-híbrida de muy alta eficiencia para la generación de electricidad tanto como de calor que funciona con radiación solar concentrada y con biocarburante haciéndola un sistema completamente renovable. Otros fines del proyecto son estudios sobre la introducción de esta tecnología en los mercados de países soleados, en particular Argelia, Brasil, y México

En la Plataforma Solar, las pruebas solares en la torre CESA-1 estaban previstas en dos etapas. La primera se llevó a cabo en los años 2008 y 2009 en el nivel de 60 m con la turbina de la empresa israelí Ormat de una potencia eléctrica de 250 kW, que ya se operó con mucho éxito en el proyecto Solgate. Esta turbina estaba 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 fue la sustitución del keroseno por un carburante Diesel de 100% origen biológico ("biodiesel").

La segunda etapa será en el mismo lugar en el año 2010 con una turbina de la empresa italiana/sueca Turbec de una potencia eléctrica de 100 kW. Para esta turbina se ha desarrollado 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 2008-9: La campaña de ensayos empezó en marzo de 2008 con primeras pruebas para averiguar el comportamiento del sistema en general con los nuevos componentes, todavía con keroseno. Después de sólo cuatro ensayos y algunas mejoras de detalles, el sistema estaba preparado para el objetivo principal, la operación con biodiesel. Entonces el día 1 de mayo de 2008, junto con personal de la empresa Ormat, se realizó el primer ensayo de una turbina de gas operada con energía solar concentrada y biocarburante. La operación fue un rotundo éxito, ya en ese primer ensayo se alcanzaron casi las condiciones de operación de diseño. La turbina funcionó dos horas y cuarto con radiación solar, y dos horas y media con biodiesel. La máxima temperatura de aire de salida de los receptores fue 758°C, la potencia eléctrica del generador 187 kW, y la velocidad de la turbina 96,6% de su valor nominal (54000 rpm). Los datos más importantes de potencia están representados en Figura 3.19.

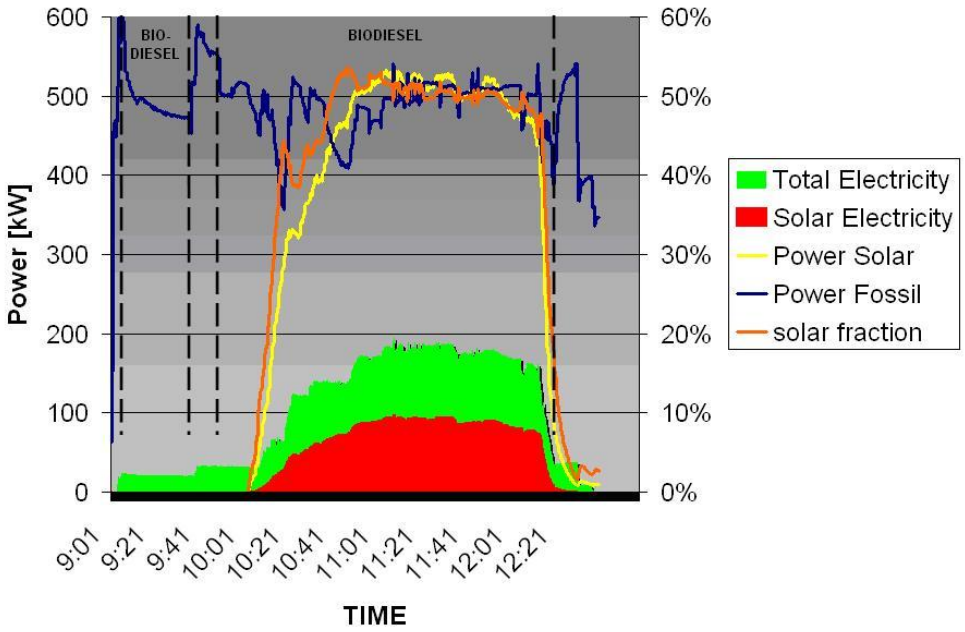


Figura 3.19 Datos de potencia del primer ensayo con biodiesel

Después de ese éxito, se hizo la instalación de dos dispositivos nuevos para mejorar la medida del caudal másico del aire, un dato clave para determinar la eficiencia de los receptores y de la turbina. Se trató de un par de rotámetros para medir de una manera muy directa el volumen del gas de succión de la turbina, y un equipo "tracer gas", que permite determinar el caudal de aire con la ayuda de un gas marcador. Los rotámetros sólo se podían usar a potencias bajas, por eso sirvieron gracias a su alta fidelidad sobre todo para la calibración del sistema de "tracer gas". Estos ensayos se llevaron a cabo en el verano de 2008, en total se hicieron 11 ensayos con baja potencia. El sistema de "tracer gas" mostró muchas dificultades, pero finalmente se consiguió su calibración y fiable funcionamiento.

Finalmente, el 7 de agosto de 2008, se desactivaron los rotámetros y se volvió a los ensayos de alta potencia. Lamentablemente había muchos problemas con la turbina, de manera que al final del tiempo asignado de ensayos a mitad de septiembre todavía no se había llegado del todo a las condiciones nominales. Por eso se reinició la campaña en marzo de 2009, donde dentro de sólo una semana se hicieron 6 ensayos. En el mejor de todos, el 13 de marzo de 2009, se consiguieron datos extraordinarios, la temperatura de aire de salida rodeó más que una hora los 840°C, y alcanzó un máximo de 843°C con una potencia eléctrica de 217 kW. Sin embargo, no fue posible llegar a 100% de velocidad. La causa no quedó claro del todo, se sospecha que la nueva instalación de tubería de los rotámetros causó una leve caída de presión que resultó en un peor rendimiento de la turbina.

En abril de 2009, se desmontó por completo el sistema y se devolvió la turbina a Israel, después de 7 años de operación de gran éxito con energía solar de alta concentración.

En el workpackage 3 del proyecto SolHyCo se hicieron un total de 30 ensayos, con 77 horas de operación de la turbina, de ellas 60 con biodiesel y 58 con radiación solar. La operación con biodiesel prácticamente no se distinguió de la operación con keroseno, excepto en el procedimiento diferente del arranque. La mejora de la medida del caudal másico de aire no dio los resul-

tados esperados, principalmente por las limitaciones que trajeron los rotámetros al sistema.

A partir del verano 2009 se empezó con el montaje de los componentes del workpackage 5, que incluye la turbina comercial Turbec de 100 kW y el avanzado receptor de tubos. La instalación se completó en otoño 2009 y se hicieron ciertas pruebas con la turbina sin radiación solar, pero debido a problemas de control de la combustión, causados por la presencia de la masa adicional del receptor, en el 2009 no se ha llegado a empezar los ensayos solares. La terminación de esta campaña está prevista para la primera mitad del año 2010.

Figura 3.20 Sistema SolHyco en operación, zona focal

Publicaciones: [3.15]

3.3.5 CENIT-CONSOLIDA: Estudio de la situación tecnológica actual y necesidad de I+D en sistemas de concentración solar (Actividad 2)

Participantes: ABENGOA SOLAR NT, CIEMAT-PSA, IDESA, Prodintec termofluids y CTTC.
Contactos: Paula Llorente (Paula.llorente@solar.abengoa.es); Félix M. Téllez (felix.tellez@ciemat.es)
Financiación: CDTI-ABENGOA-SNT: 75 k€
Duración: Enero de 2008 a Diciembre de 2009.

Antecedentes: Proyecto que constituye la Actividad 2 dentro del Proyecto de investigación industrial estratégica CENIT Consolida "Consorcio Solar de I+D", coordinado por la empresa Abengoa Solar NT y aprobado en la cuarta convocatoria del Programa CENIT, enmarcado en la iniciativa Ingenio 2010.

Diversos estudios independientes y la propia Agencia Internacional de la Energía confirman a las centrales eléctricas termosolares como la forma más económica de producir electricidad a gran escala a partir de la energía solar. Su diagnóstico sitúa, no obstante, el coste directo de capital en 2,5 a 3,5 veces el de una planta térmica convencional y la electricidad que producen alcanza un precio de generación de 2 a 4 veces superior. No obstante, se reconoce que el margen de reducción de costes es enorme y el objetivo de reducir el LEC por debajo de los 8 c€/kWh es factible en los próximos 15 años. La incertidumbre existente en los costes asociados a muchas de las tecnologías por la ausencia de referentes actuales en fabricación e implantación comercial

y su potencial evolución en cuanto a mejoras de rendimiento y durabilidad hace necesario un análisis comparativo basado en la vigilancia tecnológica y los correspondientes estudios de viabilidad, con el fin de fijar prioridades en cuanto a objetivos y contenido de I+D.

Objetivos: Esta actividad cuenta con dos objetivos fundamentales:

- Recopilación de opciones tecnológicas y situación actual en cuanto a grado de madurez y riesgos asociados.
- Identificar los puntos críticos en cuanto a desarrollo tecnológico, la sensibilidad y el impacto de éstos para alcanzar un grado suficiente de competitividad y el grado de penetración de estas tecnologías en el marco futuro.

Logros en 2008-9:

- Análisis paramétrico de las dimensiones óptimas de los concentradores cilindro parabólicos (CCP)
- Gestionabilidad del almacenamiento.
- Influencia de la temperatura de trabajo y del tipo de fluido caloportador empleado (gas, sales fundidas, siliconas, generación directa de vapor, etc.) en la eficiencia térmica de la planta termosolar.

3.3.6 CENIT-CONSOLIDA: I+D para la mejora de componentes clave en la tecnología CRS (Actividad 3).

Participantes: ABENGOA SOLAR NT, CIEMAT-PSA, IDESA, Prodintec termofluids y CTTC.
Contactos: Lucia Serrano (lucia.serrano@solar.abengoa.es); Jesús Fernández-Reche (jesus.fernandez@psa.es)
Financiación: CENIT + ABENGOA-SNT: 200 k€
Duración: Enero de 2008 a Diciembre de 2011.

Antecedentes: Proyecto que constituye la Actividad 3 dentro del Proyecto de investigación industrial estratégica CENIT Consolida "Consorcio Solar de I+D", coordinado por la empresa Abengoa Solar NT y aprobado en la cuarta convocatoria del Programa CENIT, enmarcado en la iniciativa Ingenio 2010.

Los proyecto existentes hasta la actualidad en tecnología de torre para vapor sobrecalentado, principalmente SOLAR ONE, han evidenciado la necesidad de desarrollo tecnológico que necesita esta tecnología para su introducción en el mercado. La presencia en un mismo receptor de un fluido en dos fases diferentes y con propiedades termodinámicas muy distintas hace que el proceso de evaporación y sobrecalentamiento del agua no sea fácilmente controlable; provocándose grandes tensiones y deformaciones en los receptores ensayados hasta la nuestros días. la separación de los fenómenos de evaporación y sobrecalentamiento, supone una simplificación en el aspecto de control, haciendo que el proceso conjunto sea más fácilmente operable. ABENGOA SOLAR NT, en colaboración con otras empresas y centro de investigación, está evaluando dentro del proyecto Consolida Actividad 3, un prototipo de receptor solar de torre para vapor sobrecalentado que mejorará considerablemente los rendimientos y costes del sistema.

Objetivos: El apoyo del CIEMAT consiste principalmente en i) el asesoramiento y elección de los instrumentos de medida a emplear en el receptor de vapor sobrecalentado, ii) el establecimiento de un plan de ensayos y iii) unos

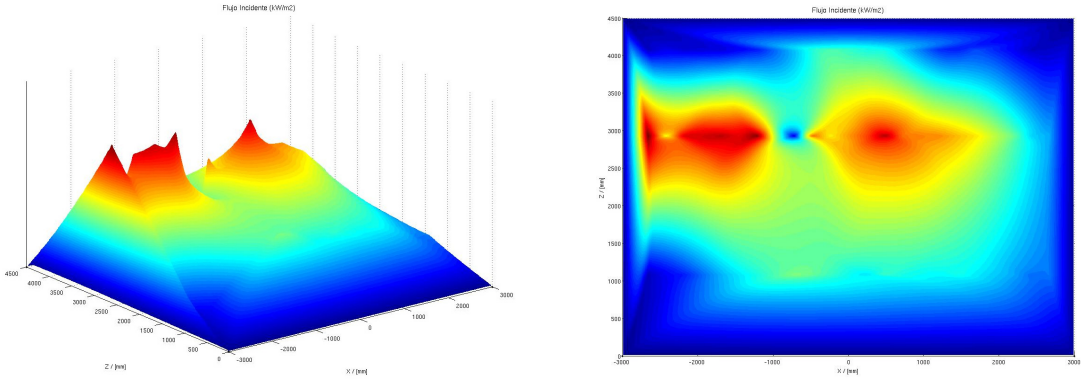


Figura 3.21 Flujo incidente y proyeción de decho flujo en el plano del receptor del proyecto CONSOLIDA.

protocolos de control del proceso, así como iv) en la simulación de las magnitudes a medir y de otras variables importantes en el proceso.

Logros en 2008-2009: Durante 2008 y 2009 los trabajos del CIEMAT en relación con la Actividad 3 del proyecto CONSOLIDA han consistido la recomendación de los instrumentos de medida a emplear en el receptor de vapor sobrecalentado, y se han simulado las medidas obtenidas con ellos (mapa de flujo incidente).

El proyecto se encuentra en la fase de comparación entre simulación y datos reales de planta.

3.3.7 Actividades en el Laboratorio de Radiometría

Participantes: CIEMAT
Contacto: Jesús Ballestrín (jesus.ballestrin@psa.es)
Financiación: Plan Nacional (2002) de I+D y Fondos propios Ciemat
Duración: Dic. 2003 - (Actividad continua)

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 sigue siendo una práctica habitual en este laboratorio de radiometría; en este

sentido da servicio a empresas e instituciones nacionales e internacionales: Solucar, CENIM, DLR, CIEMAT

Logros en 2008-2009: Durante los años 2008-9 se ha analizado el funcionamiento y verificado la calibración de los radiómetros que operan en las plantas de torre PS10 y PS20.

Figura 3.23 Calibración de detector IR en laboratorio.

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

El Laboratorio de Radiometría cuenta con tres cuerpos negros como referencia para calibración de sensores IR para medida de temperatura asegurando trazabilidad en el rango 0-1700 ºC. El cuerpo negro MIKRON M330 es de cavidad cilíndrica y puede proporcionar cualquier temperatura entre 300 y 1700ºC con una exactitud de ± 0.25% y una resolución de 1ºC. Su emisividad es de 0.99 en una apertura de 25 milímetros de diámetro. El cuerpo negro MIKRON M305 es de cavidad esférica y puede proporcionar cualquier temperatura entre 100 y 1000ºC con una exactitud de ± 0.25% y una resolución de 1ºC. Su emisividad es de 0.995 en una apertura de 25 milímetros de diámetro. El cuerpo negro MIKRON M340 es de cavidad plana y puede proporcionar cualquier temperatura entre 0 y 150ºC con una exactitud de ± 0.2ºC y una resolución de 0.1ºC. Su emisividad es de 0.99 en una apertura de 51 milímetros de diámetro. Estos cuerpos negros llevan incorporado un sistema de control PID y la temperatura es comprobada mediante un termopar de platino de alta precisión.

Figura 3.22 Laboratorio de Radiometría.

En la PSA se llevan a cabo ensayos en los que se requiere la medida de altas temperaturas (>1000ºC) en superficies materiales. En algunos casos incluso se requiere la utilización de ventanas de cuarzo para poder trabajar en una atmósfera inerte que impida la rápida oxidación de los materiales. El cuarzo permite que gran parte de la radiación solar pase a su través pero impide que gran parte del espectro infrarrojo emitido por la superficie caliente pase a su través en sentido opuesto. La utilización de termopares viene siendo el método comúnmente utilizado a pesar de que es de sobra sabido que los métodos de contacto para medida de temperaturas superficiales no son correctos. Se requiere por tanto la utilización de detectores de infrarrojos (medida sin contacto) que permitan discriminar la radiación emitida por la superficie caliente de la radiación solar reflejada por esa misma superficie.

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 H_2O y CO_2 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 (Fig. 3). Durante estos dos últimos años se ha conseguido definir, diseñar y validar una cámara IR con filtros pasa banda en las zonas de absorción solar atmosférica de 1900, 2700 y 4300 nm.

En colaboración con el grupo de la estación meteorológica de la PSA se han iniciado estudios para caracterizar la irradiancia solar espectral.

Publicaciones: [3.16]-[3.18]

3.3.8 Actividades sobre el Envejecimiento Acelerado y Durabilidad de Materiales.

Participantes: CIEMAT-PSA (E).
Contactos: Jesús Fernández-Reche (jesus.fernandez@psa.es), Mónica Álvarez de Lara (monica.alvarezdelara@ciemat.es)
Financiación: Fondos FEDER, Proyecto SOLNOVA (Plan-E) y Fondos Propios.

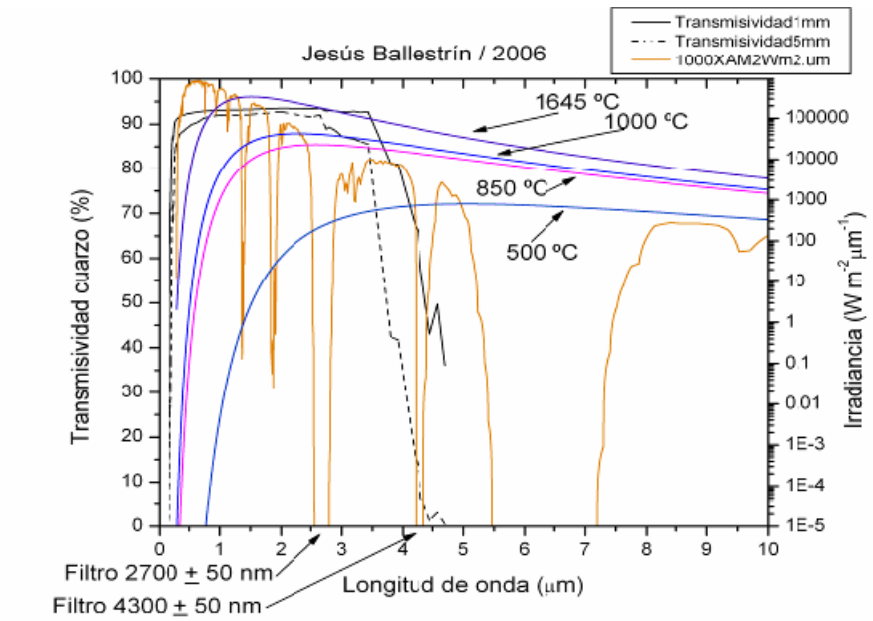


Figura 3.24 Problemática de la medida de temperatura superficial en el contexto solar.

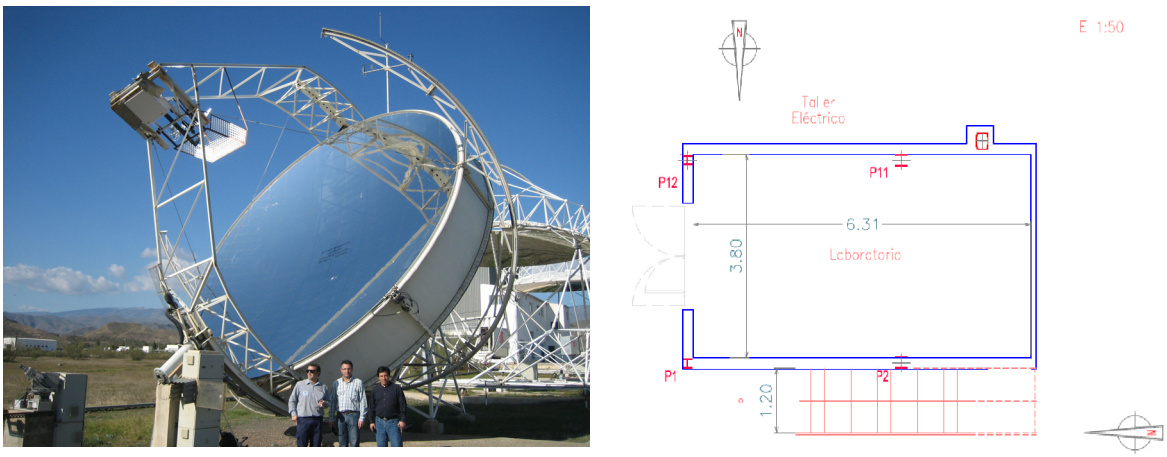


Figura 3.25 Ensayos de ciclado térmico en disco parabólico y planos del laboratorio de materiales y envejecimiento (totalmente equipado en el primer semestre de 2010).

Duración: 2009-...

Antecedentes: Una de las incógnitas que queda por resolver en los sistemas de torre central consiste en la durabilidad de los materiales y componentes que se encuentran sometidos a altos flujos de radiación solar incidente y a ciclos diarios de calentamiento/enfriamiento a temperaturas de hasta 1000ºC; principalmente receptores solares. Ya en el proyecto AVANSOL, se comenzó a abordar el tema de la durabilidad de materiales absorbedores, y como consecuencia de este proyecto. La Plataforma Solar de Almería ha puesto en marcha una línea de investigación estratégica en durabilidad de materiales sometidos a altos flujos solares y a altas temperaturas. Fruto de esta línea es el laboratorio que se describe a continuación.

Objetivos: i) Desarrollo de metodologías de ensayo para envejecimiento acelerado e inferencia en la durabilidad de materiales sometidos a altos flujos solares y a altas temperaturas, ii) reducción de la incertidumbre asociada a la durabilidad de componentes para plantas solares de receptor central, iii) análisis y elección de los materiales adecuados en cada una de las diferentes tecnologías de receptores para plantas de torre: receptores de tubos, receptores volumétricos; y para los distintos fluidos de refrigeración: agua/vapor, sales fundidas, aire, etc.

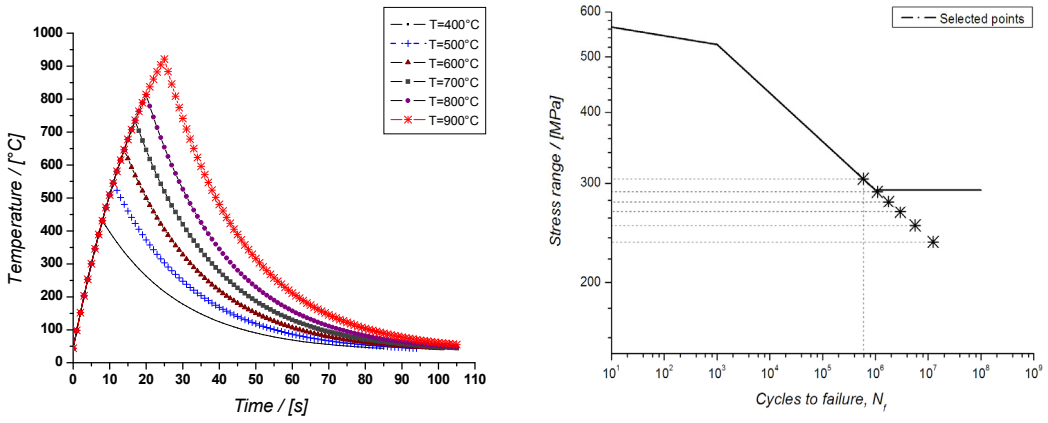


Figura 3.26 Ciclado térmico de AISI 316TI y curva de esfuerzos.

Logros en 2008-2009: El laboratorio de envejecimiento acelerado consta de:

- un laboratorio propiamente dicho, equipado con la instrumentación necesaria para ciclado térmico y análisis de materiales (hornos mufla y de alta temperatura, cámaras climáticas, etc)
- 4 discos parabólicos, en los que se han instalado plataformas de ensayo que nos permitan someter a los materiales o a prototipos a escala de receptores a alta concentración solar y realizar ciclado acelerado de temperaturas.

Durante 2008, se han realizado una serie de ensayos preliminares de ciclado térmico en probetas, tanto planas como cilíndricas de distintos materiales

Publicaciones: [3.19]-[3.23]

3.3.9 Otras actividades del Grupo de Alta Concentración en 2008 y 2009

Adicionalmente a las actividades de I+D descritas en los párrafos anteriores, el Grupo de Alta Concentración de la Unidad de Sistemas Solares de Concentración de la PSA ha llevado a cabo en los años 2008 y 2009 otras actividades, de un modo muy semejante al Grupo de Media Concentración, como son:

- Mejora de de las capacidades (modelización e instrumentación) para caracterización óptica de helióstatos mediante recogida y análisis de imagen proyectada sobre blanco pantalla en torre.
- Ensayo/verificación de componentes auxiliares para plantas solares termoeléctricas (tales como válvulas, filtros para sales de nitrato, sistemas auxiliares de calentamiento, etc.). el carácter confidencial de este tipo de trabajo impide poder dar más información concreta sobre lo realizado por la PSA en los años 2008 y 2009 en relación con estos temas.
- Diseminación de la tecnología de receptor central: participando en numerosas ponencias y cursos sobre energías renovables. En este campo, la contribución más significativa del Grupo de Alta Concentración ha sido nuestra participación en las tres ediciones del Curso sobre "Sistemas Solares de Concentración" impartido en Madrid en los años 2008 y 2009.
- Asesoramiento a promotores y equipos e ingenierías involucrados en la tecnología de receptor central en aquellas áreas en las que el GACS acumula experiencia significativa, tales como medida de altos flujos solares, diagnóstico frente a incidencias en helióstatos, elección de materiales para receptores solares, comportamiento térmico de receptores y dispositivos de almacenamiento, herramientas de diseño, simulación y estimación de producción anual de electricidad, etc.
- Elaboración de estudios de viabilidad de la tecnología STE de Receptor Central en los que se revisa el estado del arte, el potencial de las innovaciones ya disponibles o implementables a corto plazo y se analizan escenarios de producción coste para sistemas a nivel regional (caso ejemplo realizado: Costa Rica).
- Se mantiene una actividad continua de revisión de la evolución de la tecnología (proyectos comerciales, pre-comerciales, desarrollo de componentes, aplicaciones, etc.) y de planteamiento estratégico para orientar las actividades del GACS tratando de impulsar algunos conceptos de los que estamos convencidos que tienen alto potencial de ser competitivos a corto-medio plazo (como el impulso de la tecnología de RC con aire no presurizado como fluido calo-portador).

- Finalmente, atendiendo a los recursos materiales y humanos disponibles, se ha mantenido una actividad de colaboración e iniciativa en elaboración de propuestas de proyectos para su financiación parcial con fondos regionales, nacionales y/o europeos.

3.4 Grupo de Hidrógeno Solar y Solarización de Procesos Industriales

Responsable: Alfonso Vidal Delgado
Alfonso.vidal@ciemat.es

La producción de combustibles como el hidrógeno, así como la integración de las tecnologías de concentración solar en procesos industriales son los principales objetivos del Grupo de H2 Solar y Solarización de Procesos Industriales. Dado el escaso nivel de autoabastecimiento de nuestro país y su alto consumo energético, las iniciativas encaminadas al aprovechamiento de los recursos renovables para la diversificación energética, basadas en la producción de hidrógeno o la integración de la tecnología solar en sectores muy intensivos desde el punto de vista energético pueden mejorar el bienestar y la riqueza de nuestro pais.

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 los siguientes proyectos en curso: proyecto SYNPET "Solar thermochemical application for production of syngas from heavy crude oil" iniciativa privada cuyo objetivo sería demostrar la viabilidad técnica del proceso de gasificación solar con la participación de Eidgenössische Technische Hochschule ETH (Suiza) y PDVSA (Venezuela), proyecto HYDROSOL II "Solar hydrogen via water splitting in advanced monolithic reactors for future solar power plants"; Convocatoria: FP6-2004-ENERGY, como primera experiencia piloto en el mundo para el desarrollo de ciclos termoquímicos para obtener hidrógeno a partir del agua, demuestran la apuesta clara del CIEMAT por estas tecnologías. También cabría citar iniciativas de carácter nacional, por ejemplo, las tres fases del proyecto Solter-H: "Generación de hidrógeno a partir de energía solar térmica de alta temperatura" (PROFIT) en cooperación con la empresa Hynergreen, el proyecto de la Comunidad de Madrid PHISICO2, o el Proyecto de investigación industrial estratégica CENIT Consolida "Consorcio Solar de I+D". CENIT-2008-1005.

Además, desde el 2007 el CIEMAT forma parte de una iniciativa europea denominada European Joint Technology Initiative (JTI), la cual invertirá aproximadamente 430 millones de euros durante 6 años en proyectos de investigación, desarrollo tecnológico y demostración de pilas de combustible e hidrógeno.

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

Desde el punto de vista ambiental, la combustión de combustibles fósiles constituye el principal causante de la emisión de gases de efecto invernadero. Esta situación no resulta sostenible a medio plazo y se apunta de forma insistente desde las administraciones públicas a la necesidad de preparar una transición controlada hacia una nueva forma de producción y consumo energético que sea limpio, seguro y fiable. Una de las respuestas a esta crisis que se avecina es el uso de hidrógeno como fuente de energía y su transformación en electricidad por medio de las llamadas pilas de combustible.

Así, el término economía del hidrógeno responde a una visión de futuro donde el hidrógeno, generado de forma limpia y económica, serviría para alimentar el grueso de las necesidades energéticas de la sociedad. Esta propuesta reduciría la dependencia actual sobre los combustibles fósiles, ya que el hidrógeno podría ser generado a partir de otras fuentes primarias como las renovables o la nuclear. Igualmente se disminuiría la contaminación atmosférica y la emisión de gases de efecto invernadero, puesto que el único residuo generado por una pila de combustible es agua.

El hidrógeno está llamado a ser el sustituto perfecto (limpio, inagotable, etc) de los combustibles fósiles que en España suponen el 84% de la energía primaria total consumida y con una dependencia del exterior del 99.5% y un sistema de almacenamiento de energía ya que para producirlo se pueden utilizar sobrantes de energía. Su obtención mediante reformado, gasificación o oxidación de combustibles fósiles sólo puede considerarse como un procedimiento de transición hacia procesos de produción que utilizen principalmente fuentes de energía de naturaleza renovable. La utilización de este H_2 en pilas de combustible disminuiría la contaminación atmosférica y la emisión de gases de efecto invernadero, puesto que el único residuo generado por una pila de combustible es agua.

La tecnología de Pilas de Combustible es de máximo interés para un futuro energético diversificado, eficiente y limpio, ya que permite la conversión directa de un combustible (hidrógeno, y también hidrocarburos) en electricidad. Así, la utilización de pilas de combustible para generación eléctrica en edificios permitirá una conversión eficiente y limpia de los combustibles tradicionales (gas natural) o de hidrógeno. Los automóviles eléctricos alimentados con pila de combustible demuestran ya prestaciones similares a los tradicionales de combustión interna, pero con nula emisión de contaminantes. Dispositivos portátiles (teléfonos, ordenadores…) que utilicen pila de combustible tendrán mayores prestaciones y autonomía. Además, una mayor integración de energías renovables será posible a través de la producción de hidrógeno y utilización en pilas de combustible.

CIEMAT cuenta con una dilatada experiencia y grupos de trabajo para el desarrollo científico y tecnológico en sectores como: la producción de H2 y el desarrollo de pilas combustible. En el primer caso, el principal objetivo de CIEMAT 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 renovable utilizando el abundante recurso solar disponible en nuestro país y el excelente conocimiento de tecnologías de concentración solar aplicables a reactores operando a temperaturas superio-

res a los 1.000ºC. Las líneas de actividad se concretan en dos campos de actuación:

- 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.

Proyecto de gasificación solar de coque de petróleo (SYNPET)

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

Contacto: Juan Carlos de Jesús, dejesusjc@pdvsa.com
Contacto PSA : Alfonso Vidal, alfonso.vidal@ciemat.es
Financiación: Proyecto financiado por los socios, con participación mayoritaria de PDVSA. Presupuesto total: 8,6 k$. Presupuesto CIEMAT: 2.800 k$.
Duración: 1 de septiembre de 2002 – 28 de Febrero de 2010

Motivación: La gasificación solar de materiales carbonosos es una ruta de gran interés en la transición a la economía del hidrógeno. En concreto, la gasificación de coque de petróleo es un proceso complejo, pero la conversión química global puede ser representada por la reacción neta simplificada:

$$CH_xO_y + (1-y)H_2O \rightarrow (\frac{x}{2}+1-y)H_2 + CO \quad (1)$$

donde x e y son las relaciones molares elementales de H/C y O/C en coque de petróleo, respectivamente. El producto químico obtenido es gas de síntesis (syngas), cuya calidad depende de x e y.

En la gasificación convencional, la energía necesaria para calentar los reactivos y para suministrar calor de la reacción se aporta quemando una importante cantidad de material prima. La combustión interna (reactores autotérmicos) da lugar a la contaminación de los productos gaseosos, mientras que en la combustión externa (reactores alotérmicos) resulta en un menor rendimiento térmico debido a las irreversibilidades asociadas a los procesos de intercambio de calor. Por lo tanto, 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.

Objetivos: El principal objetivo del proyecto SYNPET es demostrar la viabilidad técnica del proceso de gasificación solar de 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, en el diseño de un reactor solar con ventana de cuarzo y su escalación y evaluación en una instalación de 500 kW ubicada en el nivel superior de la torre CRS de la PSA.

Resultados alcanzados en 2009: Durante el año 2009 se ha culminado la construcción de la planta y en Julio se ha iniciado la puesta en marcha. El arranque ha sufrido algunos retrasos debido a la necesidad de modificar la configuración del material cerámico del cono frontal. Este material ha sufrido algunos desperfectos (grietas, roturas, etc) durante los ensayos de irradiación realizados durante las primeras semanas de puesta en marcha. Estos primeros ensayos se han realizado sin la ventana de cuarzo, habiéndose alcanzado flujos de irradiación de 1.5 MW/m^2.

En la Figura 3.27 aparece un diagrama de flujo de la instalación y la disposición final de los equipos. El sistema dosificador dispone de una tolva de 40 L de capacidad que dosifica el coke en polvo (50 – 200 micras) con una serie de tornillos sinfín que garantizan una precisión >5%. El sistema dosificador (5 - 50 kg/h) alimenta una cuba de 500 dm^3 donde se prepara la suspensión de coke y agua. Finalmente, la suspensión es inyectada a presión en el reactor SYNPET mediante una bomba de desplazamiento positivo.

El coke reacciona en el interior del reactor a temperaturas entre 1100 - 1400ºC para producir un gas rico en H_2 y parte del material que no ha reaccionado, coke, H_2O, material inerte (cenizas, slag, etc). El gas que abandona el reactor se enfría mediante un intercambiador de calor standard (TEMA Tipo BEU) diseñado para reducir la temperatura hasta 80ºC. Una primera estimación de la carga térmica del gas a la salida del reactor indica una potencia máxima de 200 kW, aportados por el agua de una torre de refrigeración situada al pie de la torre del CRS.

A continuación se ha dispuesto un tanque separador, donde se recogen los sólidos y el vapor de agua que no han reaccionado. Estos sólidos consisten generalmente en "slag" (material inerte procedente del coke) y parte del carbón que no ha reaccionado. La producción de syngas para este proceso se ha estimado entre 100 y 180 kg/h con una composición aproximada del gas :

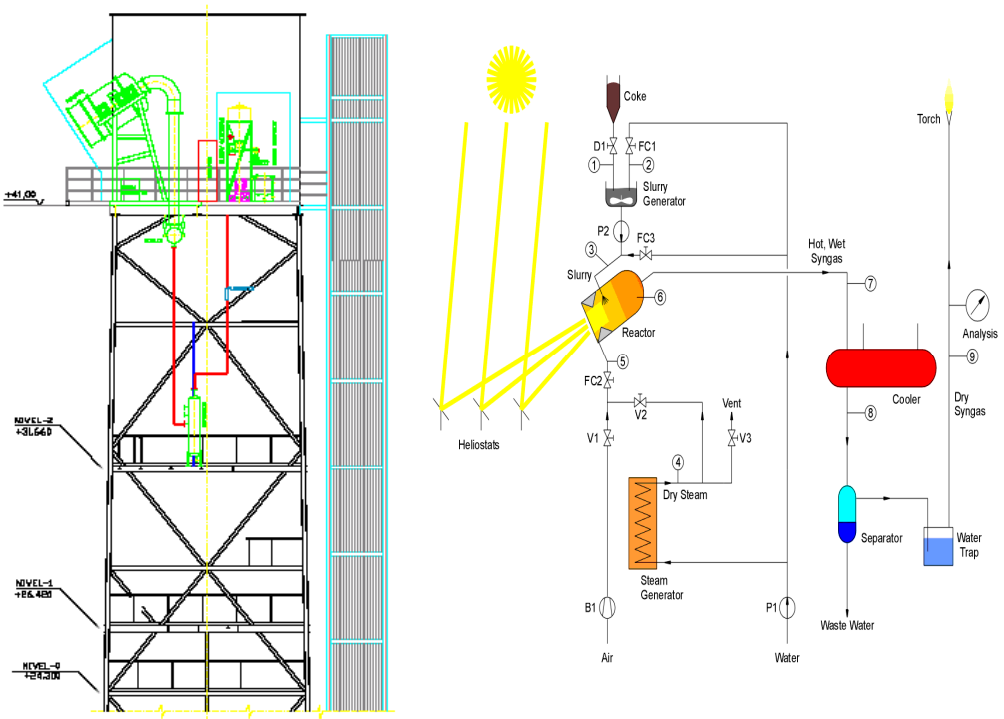


Figura 3.27 Diagrama de flujo y disposición de equipos en la torre

40–60% H_2, 20–40% CO, <5% CO_2, <1% CH_4, <0.1% SH_2. Este gas es quemado en una antorcha habilitado para este fin al final de línea.

El ejercicio de escalado de la instalación desde el pequeño reactor de 5 kW ensayado en el Horno Solar del PSI (Zürich) con coque de petróleo [3.26] ha supuesto una completa revisión del concepto de alimentación, el diseño de la ventana de cuarzo y la recuperación del calor residual de los gases. Las soluciones constructivas y de ingeniería adoptadas por la PSA en cada caso se aproximan más a una planta real, adaptada a la energía solar como fuente energética principal.

Hasta el momento se ha obtenido la aprobación de 2 patentes en EEUU, correspondientes al proceso de gasificación y al reactor solar[3.29]. Asimismo en Junio de 2009 se ha procedido al envío de la documentación necesaria para obtener una patente para la ventana de cuarzo empleada en esta aplicación.

Publicación: [3.26]-[3.29]

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

Participantes: Hynergreen y CIEMAT.
Contacto: Victoria Gallardo; victoria.gallardo@hynergreen.abengoa.com
Contacto PSA: Alfonso Vidal, alfonso.vidal@ciemat.es
Financiación: Proyecto de cooperación financiado por programa PROFIT del MEC. Presupuesto total: 987 k€. Presupuesto CIEMAT sin incluir personal: 286 k€.
Duración: 1 de enero de 2004 – 31 de Marzo de 2009

Motivación: Los ciclos termoquímicos, son los procesos en los que se tiene depositada mas confianza como 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. A modo de ejemplo se resume un ciclo termoquímico basado en la utilización de ferritas de Ni-Mn, que es objeto de estudio en el proyecto SolterH:

$$Ni_{0.5}Mn_{0.5}Fe_2O_4 \rightarrow Ni_{0.5}Mn_{0.5}Fe_2O_{4-\delta} + \delta/2\, O_2$$

$$Ni_{0.5}Mn_{0.5}Fe_2O_{4-\delta} + H_2O \rightarrow Ni_{0.5}Mn_{0.5}Fe_2O_4 + \delta H_2$$

La utilización de óxidos mixtos (ferritas) presenta algunas ventajas importantes, ya que es un ciclo sencillo que permite rebajar considerablemente la temperatura de regeneración del material. La generación de hidrógeno se basa en la creación artificial de defectos en la estructura del óxido.

Objetivos: El Proyecto SolterH tiene como principal objetivo demostrar la utilidad del binomio energías renovables - vector hidrógeno, concretamente 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. Como objetivo final, el proyecto SolterH se plantea el diseño, desarrollo y evaluación de un sistema capaz de producir hidrógeno a partir de energía solar térmica de alta temperatura, que consistiría en el ensayo de un reactor solar de 5 kW en la Plataforma Solar de Almería.

Resultados alcanzados en 2009: Durante el año 2009 se han realizado los ensayos en el Horno Solar de Almería utilizando la ferrita de Ni suministrada por la empresa Sigma-Aldrich. Los primeros ensayos iban encaminados a determinar las cantidades de O2 e H2 obtenidas en cada una de las etapas, en base a nuestra experiencia en el laboratorio.

Las etapas se pueden resumir en:

$$MO_{oxidada} \rightarrow MO_{reducida} + O_2 \qquad 1400^{o}\ C$$

$$MO_{reducida} + H_2O \rightarrow MO_{oxididada} + H_2 \qquad 900\ ^{o}C$$

Esta operación se realizará durante varios ciclos para confirmar la repetibilidad del ciclo y la durabilidad del material después del ciclado. En la Figura 3.28 se han representado los caudales molares de oxígeno e hidrógeno con el transcurso del experimento, así como la temperatura en la superficie del lecho de ferrita.

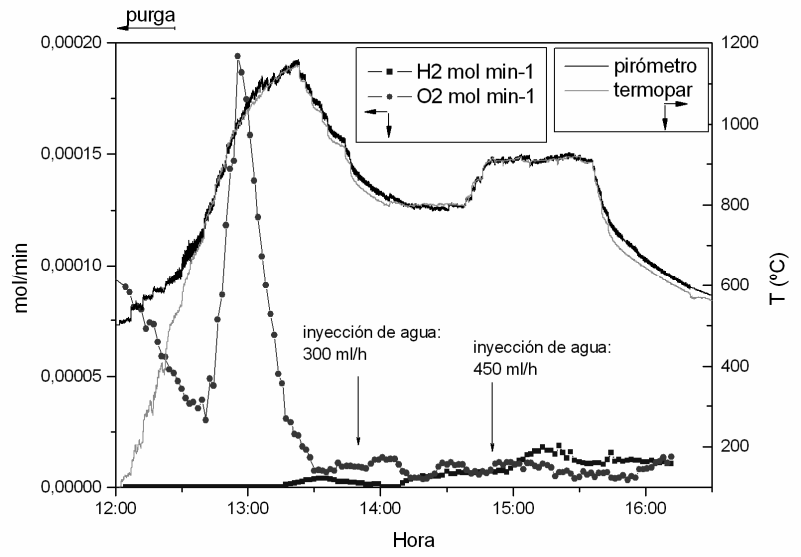


Figura 3.28 Evolución de O_2 y H_2 en el primer ciclo termoquímico con $NiFe_2O_4$.

La integración numérica de las curvas caudal molar – tiempo dio las cantidades totales de oxígeno e hidrógeno desprendidas, que quedan reflejadas en la Tabla 3.1.

La relación molar H_2/O_2 refleja el rendimiento químico de la etapa de hidrólisis, teniendo en cuenta que la relación H_2/O_2 estequiométrica para la disociación de la molécula de agua es 2. Por otra parte, esta relación es un indicador de la ciclabilidad del sistema, puesto que una relación más próxima a la estequiométrica indica una mayor re-oxidación de la ferrita reducida y, por tanto, una mayor recuperación del material de partida.

Tabla 3.1 Resultados de dos ciclos con $NiFe_2O_4$

Etapa	T máxima (ºC)	O_2 mmol g^{-1}	H_2 mmol g^{-1}	H_2/O_2	Rendidmiento hidrólisis (%)
Activación 1	1190	0.0105	-	0.1	5
Hidrólisis 1	1150	-	0.001		
Activación 2	1200	0.0028	-	5.7	285
Hidrólisis 2	1075	-	0.016		
Total		0.0133	0.017	1.3	65

Los resultados en este primer ciclo, desde el punto de vista tanto de la producción de hidrógeno como de la relación H_2/O_2, quedan alejados de los obtenidos en el laboratorio. Sin embargo, en el segundo ciclo se produce el resultado contrario: la producción de oxígeno en la segunda activación desciende con respecto a la primera y sin embargo la producción de hidrógeno aumenta sensiblemente en el segundo ciclo con respecto al primero.

Resultados similares se obtuvieron en el laboratorio, en estudios de ciclabilidad de la muestra $NiFe_2O_4$, y se pueden explicar considerando que en la segunda hidrólisis se está oxidando parte de la ferrita reducida en el primer ciclo que no había sido re-oxidada. Actualmente se están realizando ensayos en laboratorio combinados con diferentes técnicas de caracterización físico-química para el estudio de este comportamiento.

Publicación: [3.32]

Producción Limpia de Hidrógeno: Alternativas sin emisiones de CO_2. (Proyecto PHISICO2).

Participantes: Universidad Rey Juan Carlos, CSIC, INTA, REPSOL, HYNERGREEN y CIEMAT.
Contacto: David Serrano; david.serrano@urjc.es
Contacto CIEMAT: Alberto Quejido; alberto.quejido@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 los esfuerzos y capacidades de investigación de una serie de grupos de investigación ubicados en Madrid (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 CO_2 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. En el mencionado proyecto la participación de CIEMAT se está realizando a través de varios grupos de investigación del Centro: Grupo de Hidrógeno de la División de la PSA, la División de Química y la Unidad de Materiales del Laboratorio de Fusión.

Los procesos de producción de hidrógeno que se contemplan en este proyecto son los siguientes: fotoelectrolisis del agua, ciclos termoquímicos y descarbonización de gas natural. El presente proyecto pretende evaluar la viabilidad tanto tecnológica como económica a medio-largo plazo, así como su capacidad de reducir las emisiones de CO_2 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 CO_2 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 solartérmicos 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 2009: Durante el año 2009 se comenzó a estudiar la producción de hidrógeno mediante ciclos termoquímicos con ferritas comerciales calcinadas a diferentes temperaturas. De esta evaluación se ha concluido que la ferrita de Ni comercial es la que mejores resultados da en cuanto a producción de H_2 y rendimiento de la reacción de hidrólisis, por lo que se ha decidido estudiar este sistema de forma más detallada.

En este año se ha completado este estudio mediante la realización de las etapas de hidrólisis y completando un segundo ciclo (Tabla 3.2). Estos resultados muestran que la cantidad de oxígeno desprendido durante la etapa de activación aumenta al aumentar la temperatura de calcinación alcanzando un máximo entre 900 y 1100ºC. Con la muestra calcinada a 1300ºC se rompe esta tendencia ascendente, este hecho podría ser debido a que parte de esta muestra hubiera comenzado a activarse durante la etapa de calcinación. Viendo estos resultados, cabe esperar que las cantidades de hidrógeno obtenidas en la reacción de hidrólisis sigan la misma tendencia. Sin embargo, estos valores no guardan relación aparente con la temperatura de calcinación, siendo finalmente la ferrita de Ni de partida sin calcinar la que presenta mayor producción de hidrógeno y mayor eficiencia en la reacción de hidrólisis, representada por la relación molar H_2/O_2.

Tabla 3.2 Cantidades de O_2 y H_2 por gramo de ferritas calcinadas a diferentes temperaturas, obtenidas durante la etapa de activación e hidrólisis, respectivamente, durante 2 ciclos termoquímicos consecutivos.

T CALCINACIÓN	-		700		900		1100		1300	
Ciclo	1º	2º	1º	2º	1º	2º	1º	2º	1º	2º
mmol O_2/g	0,47	0,49	0,62	0,58	0,71	0,54	0,70	0,49	0,63	0,57
mmol H_2/g	0,62	0,54	0,52	0,42	0,49	0,50	0,55	0,54	0,65	0,55
H_2 / O_2	1,32	1,10	0,84	0,51	0,69	0,93	0,79	1,1	1,03	0,96

Al mismo tiempo se ha realizado durante este año, conjuntamente con el grupo GIQA-URJC, el diseño del reactor solar de lecho fluidizado. Para ello, el grupo GIQA-URJC ha llevado a cabo experimentos de fluidización en laboratorio de la ferrita seleccionada para los primeros ensayos solares ($NiFe_2O_4$ Sigma-Aldrich). Para ello se han empleado diferentes tamaños de partícula y temperatura, llegando a conseguir fluidización con partículas de tamaños entre 125 y 250 μm, como menor tamaño posible, a 900ºC. Teniendo en cuenta las condiciones de fluidización obtenidas en el laboratorio, se han escalado las dimensiones del reactor para acoplarlas al sistema de concentración solar instalado en CIEMAT-Madrid.

El reactor solar, consta básicamente de un cilindro de acero con un revestimiento interior cerámico, con una parte superior cónica terminada en una ventana de cuarzo que permita el paso de la radiación solar concentrada, cuyo plano focal se encuentra en la parte superior del lecho fluidizado, de manera que las partículas de ferrita absorban directamente esta radiación. El gas inerte se alimentará a 700ºC para facilitar la fluidización y posibilitar que se

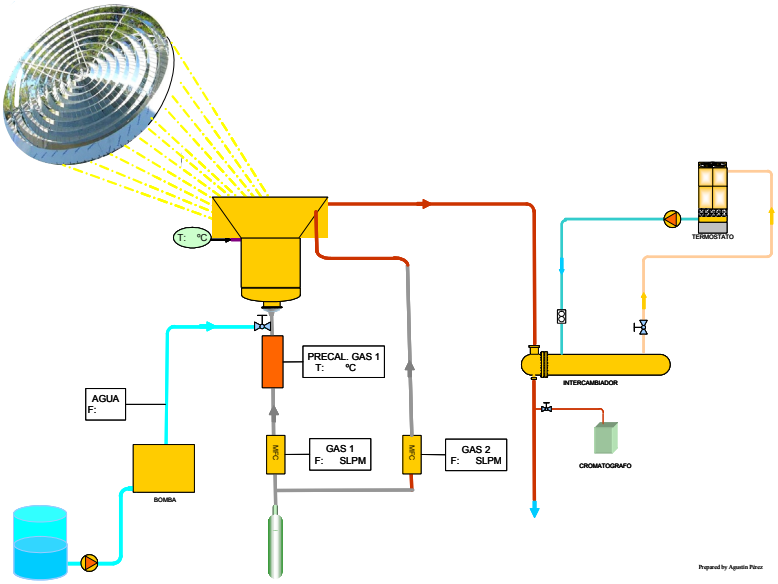


Figura 3.29 Diagrama de la instalación para el proyecto PHYSICO

alcance en el reactor la temperatura necesaria para la reducción térmica de la ferrita.

El dispositivo de concentración construido tiene una superficie reflectante de 6 m^2 y permite alcanzar una concentración solar de 500X, habiéndose medido la cantidad de energía de 2 kW en un diámetro de 20 cm. El sistema de reacción se completa con controladores de flujo másico para la alimentación de gas (N_2), una bomba de inyección de agua para la etapa de hidrólisis, una resistencia cerámica para el precalentamiento del gas, un sistema de condensación de agua y un cromatógrafo de gases (μ-GC).

Publicación: [3.32]-[3.38]

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

Participantes: APTL (Grecia), DLR (Alemania), CIEMAT (España), STC (Dinamarca), Johnson Matthey (RU).
Contacto: Christos Agrafiotis; chrisagr@cperi.certh.gr
Contacto PSA : Antonio López; 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 – 30 Septiembre 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. 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 1.000ºC. 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 que fueron validados con éxito durante el proyecto SOLAIR. La impregnación de estas matrices cerámicas con ferritas mixtas permitiría utilizar el con-

cepto 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 oxigeno 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 evaluación de un reactor de 100 kW en la Plataforma Solar de Almería utilizando 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 H_2.

Resultados alcanzados en 2009: Durante el año 2009 el trabajo en la PSA se ha centrado en la realización de ensayos de evaluación de los monolitos de la instalación.

La primera campaña de ensayos se realizó durante el año 2008 con monolitos no recubiertos con material óxido, evaluándose la influencia de factores tales como el caudal de aire de precalentamiento, el enfoque y desenfoque de los helióstatos el nivel de temperatura alcanzada en el reactor y la eficacia de controlar esta temperatura respecto a los requisitos del ciclo water-splitting/regeneration. Estos primeros ciclos térmicos han demostrado la fiabilidad operacional de todos los sistemas necesarios periféricos instalados (como el PLC, armario eléctrico, el cableado, soporte de mesa, termopares, sensores de presión, sistema de adquisición de datos y programa de control de proceso) y han llevado a las primeras recomendaciones básicas con respecto a la estrategia de operación, especialmente sobre la forma de lograr un rápido cambio de los niveles de temperatura.

La primera serie de pruebas de producción de hidrógeno en 2009 han demostrado la viabilidad de la producción de hidrógeno en el reactor experimental para dos ciclos consecutivos. Los monolitos utilizados en los ensayos térmicos fueron reemplazados por monolitos recubiertos de ferrita de zinc. Al inicio del experimento los dos reactores se calentaron hasta 800ºC para alcanzar las condiciones de operación, a continuación, se realizaron dos ciclos (calentamiento hasta 1200ºC y enfriamiento hasta 800ºC) en ambos módulos. En la Figura 3.31 se muestran los resultados obtenidos durante una campaña de ensayos con ambos módulos. La concentración medida se correspon-

Figura 3.30 Izquierda Detalle de la apertura de los 2 reactores del proyecto HYDROSOL II en operación. Derecha. Imagen del campo de helióstatos SSPS desde una de las aperturas de los reactores del proyecto HYDROSOL II.

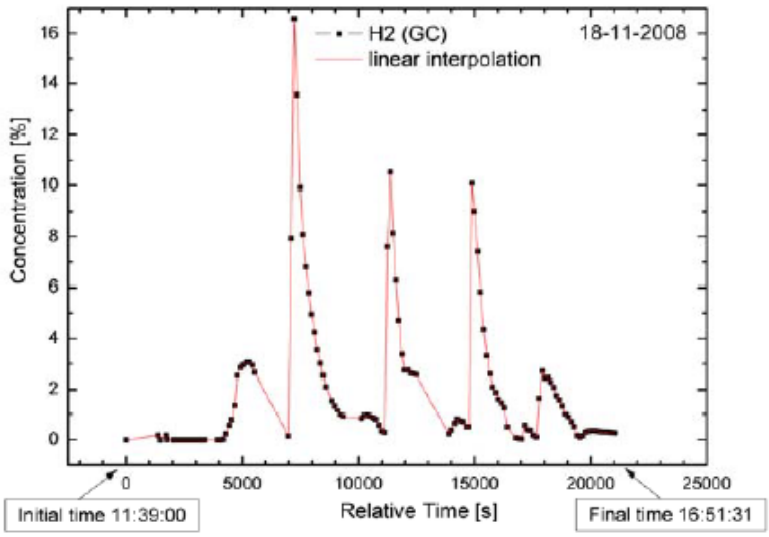


Figura 3.31 Concentración de hidrógeno detectado por el GC

dería con una conversión del 30% de vapor de agua.

A lo largo de 2009 se han llevado a cabo diversas campañas de ensayo con distintos tipos de recubrimientos en los monolitos, observándose que el material exhibe la misma actividad que en los ciclos mostrados en la Figura 3.31. Se ha demostrado con esta campaña de ensayos la capacidad operativa del rector de HYDROSOL II en un campo de helióstatos con torre central para la producción semi-continua de hidrogeno.

Publicación: [3.39]-[3.41]

Obtención de oxigeno a partir de REgolita lunar con Energía SOLar concentrada (Proyecto ORESOL).

Participantes: CIEMAT – PSA (España)
Contacto PSA: Thorsten Denk; thorsten.denk.psa.es
Financiación: Proyecto DeMoLOP de la Red ERA-STAR Regions (ERA – Space Technologies Applications & Research for the Regions and Medium-Sized Countries - CA-515793-ERA-STAR REGIONS), del 6º PM de la Comisión Europea. Presupuesto total: 100 k€.
Duración: 1 de diciembre de 2008 – 30 Diciembre de 2009

Motivación: Según la planificación de la Agencia Espacial Estadounidense (NASA), en las dos próximas décadas, el foco de la exploración espacial tripulada volverá a la luna como precursor de posibles viajes a Marte. El recurso más importante que se necesitará allí es el oxígeno, tanto para consumo humano como para carburante de cohetes. Si se consiguiera obtener oxígeno in situ en la luna, se ahorraría una parte muy sustancial y costosa de transporte de carga desde la tierra.

El regolito (polvo) lunar es rico en oxígeno (hasta 45%-masa), pero los enlaces químicos son muy fuertes, lo que significa que para su obtención hacen falta temperaturas muy elevadas, por encima de 1000ºC. Como consecuencia de estudios previos, se ha seleccionado como reacción química más favorable la reducción del componente del regolito lunar, denominado ilmenita, con hidrógeno a agua, seguida de una electrólisis para la obtención del oxígeno y recuperación del hidrógeno.

$$FeTiO_3 + H_2 \rightarrow TiO_2 + H_2O + Fe$$
$$2\,H_2O \rightarrow 2\,H_2 + O_2$$

Una posibilidad atractiva para suministrar la energía necesaria es utilizar sistemas de radiación solar concentrada, que permiten proporcionar altas densidades de flujo energético con las que sería viable alcanzar las temperaturas necesarias para llevar a cabo el proceso.

Objetivos: En el proyecto DeMoLOP se pretendió investigar la obtención de oxigeno a partir de regolito lunar mediante energía solar concentrada, con el objeto de desarrollar un sistema de demostración completo consistente en:

1) un sistema de extracción de regolito
2) un sistema de reacción para la obtención de oxígeno
3) un sistema de post-procesamiento para el oxígeno

La contribución del proyecto ORESOL se centró en la ejecución del punto 2), desarrollo, construcción, ensayo y caracterización de un dispositivo capaz de llevar a cabo la reacción química con radiación solar concentrada para la ganancia de oxígeno a partir de un "lunar soil simulant" fabricado por la NASA.

Resultados alcanzados en 2008: Los dos logros principales que se han conseguido en el proyecto Oresol en el año 2008 son: el desarrollo completo del proceso y el diseño del reactor solar.

El esquema básico y simplificado del proceso Oresol se ve en la Figura 3.32. La radiación procedente del sol se concentra con el concentrador solar (1). En el foco se encuentra el reactor (2). Este reactor está alimentado por regolito lunar y con hidrógeno. Productos son la escoria del regolito y un gas, compuesto en gran parte por el exceso del hidrógeno de alimentación, y como resto por vapor de agua, el producto deseado del reactor solar térmico. Debido al bajo contenido del reactante útil (ilmenita) en el regolito, es inevitable el procesamiento de una gran cantidad de sólidos con su asociado consumo de energía para calentarlos. Por eso, y para simplificar el post procesamiento de la escoria, es aconsejable un sistema de recuperación (parcial) de calor (3). Mientras que se expulsan los residuos sólidos (8), los componentes volátiles están llevados al sistema de tratamiento de agua (4). En este paso se separa el exceso de hidrógeno del agua obtenida, y, si es necesario, se purifica y almacena el agua. Mientras que se reintroduce el hidrógeno al proceso, el agua es llevada al electrolizador (5). Este aparato, que a la vez es el mayor consumidor de energía eléctrica del proceso, disocia el agua en hidrógeno y oxígeno. Mientras que se recicla también este hidrógeno, el oxígeno es el producto final deseado del proceso (9). El esquema lo completa el sistema de alimentación eléctrica (10), el control y adquisición de datos más sistemas de comunicación con la tierra (12), un sistema de repulsión de calor (11), un sistema de esclusas para el regolito (7) y la escoria (8), otros sistemas de pre tratamiento del regolito (7) y varios subsistemas, sobre todo para bombear y almacenar hidrógeno.

El proyecto Oresol sólo es el primer paso hacía una planta de producción de oxígeno lunar, por eso se ha simplificado fuertemente el proceso. La investigación se centra en primer lugar en el paso clave del proceso, que es el reactor solar (2). Como concentrador solar (1) se utiliza el Horno Solar de la Plataforma Solar de Almería. Como concepto del reactor Oresol se eligió un reactor de lecho fluidizado de baja expansión con operación en continuo, radiación solar concentrada en vertical, y absorción directa, quiere decir a través de una ventana de cuarzo. El reactor está diseñado en el caso de operación con

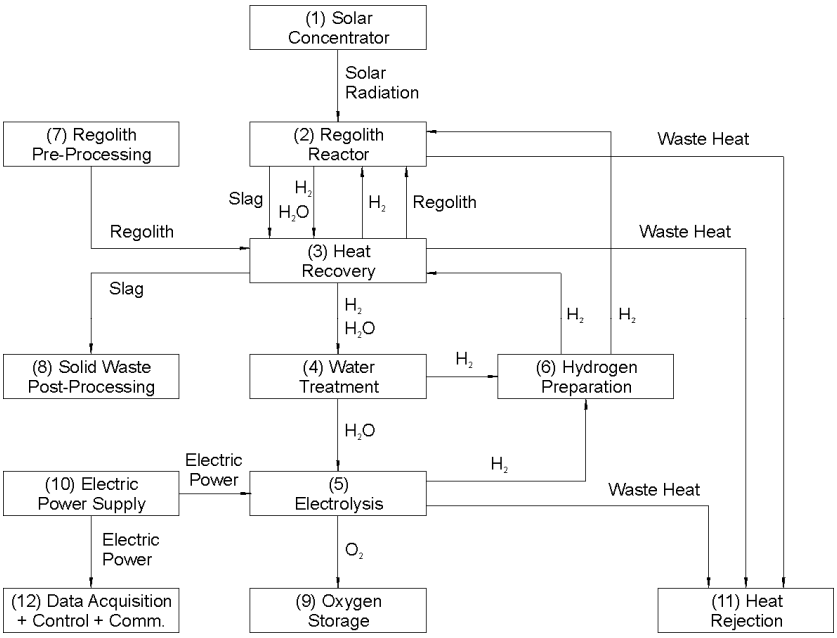


Figura 3.32 Esquema básico del proceso Oresol

hidrógeno puro para la producción de hasta 700 g de agua cada hora, consumiendo en este tiempo aprox. 120 kg de regolito. Quedan como tareas abiertas más importantes para el año 2010 la finalización de la integración del reactor y los ensayos.

3.4.2 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: Diego Martínez, diego.martinez@psa.es;
Inmaculada Cañadas, i.canadas@psa.es

Financiación: SOLARPRO I: Proyecto financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología, dentro del marco del Plan Nacional de I+D+I (2003-2006). Presupuesto total: 370,6 k€. Presupuesto CIEMAT: 176,6 k€.
SOLARPRO II: Proyecto financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología, dentro del marco del Plan Nacional de I+D+I (2004-2007). Presupuesto total: 35,04 k€. Presupuesto CIEMAT: 7,26 k€.

Duración: SOLARPRO I: noviembre de 2003 – noviembre de 2006
SOLARPRO II: octubre de 2006 – 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, en este proyecto, los procesos estudiados se clasifican básicamente en dos grupos: procesos de producción industrial y procesos de tratamiento de residuos.

- *Procesos de producción industrial*: Dado que lo que se pretende es aprovechar la capacidad de generar altas temperaturas, propia de los sistemas de concentración solar, se propuso estudiar la viabilidad de la aplicación de la energía solar térmica a diferentes procesos de interés industrial en los que es necesario un elevado aporte energético, y que llevan asociados, si se utilizasen los combustibles fósiles, emisiones elevadas de compuestos acidificantes, tales como procesos pulvimetalúrgicos, procesos típicos de la industria cerámica, y diversos tratamientos de materiales.
- *Procesos de tratamiento de residuos*: Aplicando el mismo principio, se pretenden conjugar dos efectos beneficiosos para el medio ambiente: utilización de una fuente de energía renovable y destrucción de residuos de difícil eliminación.

Resultados alcanzados: En SolarPRO I se diseñaron y construyeron paralelamente tres prototipos de cámaras o reactores diferentes, innovadores, basados en distintas tecnologías, además de distintos prototipos y dispositivos de ensayos para aplicaciones específicas. Paralelamente se desarrollaron sus

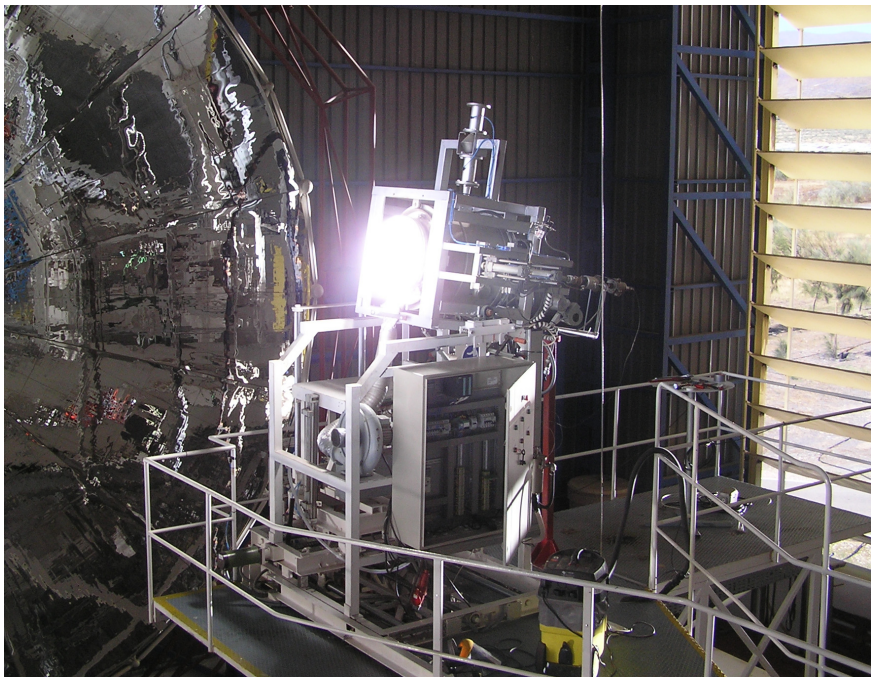


Figura 3.33 Prototipo de reactor solar del proyecto SOLARPRO en operación en el Horno Solar de PSA.

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'.

Ya dentro de SolarPRO II, estos reactores fueron mejorados con éxito, acercándose a los objetivos preindustriales del proyecto.

Actualmente se sigue trabajando en este proyecto, desarrollando las segundas generaciones de estos prototipos, incluso prototipos de diseños nuevos, con los que se están obteniendo resultados exitosos.

Las diferentes fases del proyecto SolarPRO han 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.
- mejorar los tres prototipos innovadores desarrollados en la primera fase del proyecto, basados en diferentes tecnologías, con diferentes temperaturas y condiciones de trabajo, alimentados con energía solar concentrada. Las mejoras realizadas nos han permitido avanzar en el conocimiento de los prototipos y la tecnología, de manera que nos está permitiendo diseñar prototipos mejorados 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 nueva fase del proyecto a escala preindustrial.

Adicionalmente se están firmando acuerdos de colaboración con distintas instituciones para el desarrollo de nuevos procesos y prototipos para el desarrollo de procesos y tratamiento de materiales mediante energía solar concentrada relacionados con este proyecto:

- Acuerdo Específico de Colaboración entre el Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas, (CIEMAT), y el Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, (CENIM), denominado "Tratamiento térmico de materiales metálicos mediante energía solar concentrada y Caracterización de concentradores solares", (2006-2008).
- Acuerdo Específico de Colaboración entre el Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas, (CIEMAT), y la Universidad Politécnica de Madrid denominado "Estudio de viabilidad del uso de la radiación solar concentrada para la fabricación de espumas de aluminio" (2005-2009)

Publicación: [3.42]-[3.51]

3.5 Referencias

[3.1] Laing, D., "Storage Development for Direct Steam Generation Power Plants". Parabolic Trough Technology Workshop, 9 de marzo 2007. Golden CO, USA.

[3.2] Zarza, E.; López; C.; Cámara, A.; Martinez, A.; Burgaleta, J.I.; Martín, J.C.; Fresneda; A. "Almería GDV - The First Solar Power Plant with Direct Steam Generation". Proceeding presentado al 14th Solar-

PACES International Symposium, celebrado en Las Vegas (USA) del 4 al 7 de marzo de 2008.

[3.3] Bayón, R., G. San Vicente, C. Maffiotte and Á. Morales. "Characterization of copper-manganese-oxide thin films deposited by dip-coating". *Journal of Solar Energy Materials and Solar Cells* Vol. 92 (2008) pp.1211-1216

[3.4] Bayón, R., G. San Vicente, N. Germán, Á. Morales and E. Zarza. "Last Generation Coatings for Low- And Mid-Temperature Solar Thermal Collectors". Proceeding presentado al International Syposium on Structure-Properties Relationships in Solid State Materials, Nantes (Francia) 2008.

[3.5] San Vicente, G., R. Bayón, A. Morales. "Effect of Additives on the Durability and Properties of Antireflective Films for Solar Glass Covers". Transactions of the ASME Journal of Solar Energy Engineering, 130, 1 (2008)

[3.6] Vicente, N. Germán, R. Bayón and A. Morales. "Long-Term Durability of Sol-Gel Porous Coatings for Solar Glass Covers". Proceedings delo 7th International Conference on Coatings on Glass and Plastics (ICCG7). June 15-19, 2008, Eindhoven (The Netherlands) pp:339-342.

[3.7] Morales Sabio, Á., G. San Vicente Domingo, Eduardo Zarza Moya, Jorge servert del Río, Javier Sánchez Alejo. "Procedimiento y sistema para la deposición de recubrimientos sobre superficies cilindroides de geometría extraída"; Patente Española de invención

[3.8] Fernández-García, A., Valenzuela, L., Zarza, E., García, G., León, J., Pérez, M., Díaz, R. "Solar thermal test facility for testing of small sized parabolic troughs". CIERTA 2008: *2nd International Conference on Renewable Energies and Water Technologies*. Roquetas de Mar (Almería, Spain). October 2-3, 2008.

[3.9] Fernández-García, A., Zarza, E., Valenzuela, L., Valcárcel, E., Pérez, M. "A small-sized parabolic-trough collector for supplying thermal energy at up to 250ºC". Proceeding presentado a la 14th SolarPACES Conference. Berlin (Germany). September, 13-15, 2009.

[3.10] Fernández-Reche, J., Fernández-García, A. "Photogrammetric inspection of the low cost CAPSOL parabolic-trough collector prototype". Proceeding presentado a la 14th SolarPACES Conference. Berlin (Germany). September, 13-15, 2009

[3.11] Rodriguez, M., Marquez, J.M., Biencinto, M. Adler, J.P., Esteban L., "First experimental results of a solar PTC facility using gas as the Heat Transfer Fluid". Proceeding presentado a la 14th SolarPACES Conference. Berlin (Germany). September, 13-15, 2009.

[3.12] Bayón, R., E. Rojas, L. Valenzuela, E. Zarza and J. León, "Explaining the experimental behaviour of a 100 KW thermal storage module with nitrate salts as PCM", *15th International Symposium on Solar Power and Chemical Energy Systems*. Berlin, Germany

[3.13] Álvarez de Lara, M. et al., Asesoría en la selección de materiales para receptor en planta Solar Tres (Actividades Ciemat Desarrollo de Receptor de Sales Fundidas de Centrales Solares Termoeléctricas de Torre – programa PIIC). Doc. Nº: USSC – RECSALES-CON - QA - 08xx

[3.14] Álvarez-Lara, M. y Perosanz, F., Alloys Selection for Molten Salts Central Receivers for Solar Power Plants. SolarPaces 2009. 15-18 Septiembre 2009. Berlín, Alemania. ISBN: 978-3-00-028755-8

[3.15] Heller, P., Jedamski, J., Amsbeck, L., Uhlig, R., Ebert M., Svensson, M., Denk, T., Hilgert, C., Fisher, U., Sinai, J., Gertig, C. y Tochon, P., Development of a Solar-Hybrid Microturbine System for a Mini-Tower

[3.16] Ballestrín, J., Cañadas I., and Rodríguez, J., "Testing a Solar-Blind Pyrometer",_14th SolarPACES International Symposium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies. Las Vegas, USA (March 4-7, 2008).

[3.17] Estrada, C. A., Pérez-Rábago, C. A. and Ballestrín J., *"Development of a Conical Cavity Calorimeter for Measuring Highly Concentrated Solar Flux",* 14th SolarPACES International Symposium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies. Las Vegas, USA (March 4-7, 2008).

[3.18] Ballestrín, J., López, M., Rodríguez, J., Cañadas, I., Marzo, A., *"A Solar-Blind IR camera prototype",* 15th SolarPACES International Symposium. Berlin, Germany, 15-18 September 2009.

[3.19] Rojas-Morín, A., Barba Pingarrón, A., Fernández-Reche, J., Esfuerzos Térmicos en Materiales Generados con Energía Solar Concentrada. Memorias del XV Congreso Anual de la SOMIM. 2009

[3.20] Fernández-Reche, J., Rojas-Morín, A. y Álvarez de Lara, M., Degradation Analysis of Aisi 316ti Stainless Steel Subjected to Thermal Cycling Under Concentrated Solar Radiation. Proceedings del XV SOLARPACES international Symposium, 2009. ISBN: 978-3-00-028755-8

[3.21] Rojas-Morín, A. y Fernández-Reche. J., Metodología del Estudio Teórico de Trazado de Rayos del Concentrador Solar DISTAL-I. Actas del XIV Congreso Ibérico y IX Congreso Iberoamericano de Energía Solar. 2008

[3.22] González Viada, M., Ávila, A. Téllez Sufrategui, F. Amado, R., Guraya, M., Fernández-Reche, J., Pfänder, M., Rojas-Morín A., Miranda, H., Varela, F., SIC Porous Structures for Volumetric Absorbers (As Central Solar Receivers): First Approach to Durability Test. Proceedings de EXTREMAT'2008 International Congress. 2008.

[3.23] Fernández-Reche, J., A. Rojas-Morín. Thermal Cycling of Solar Absorber Materials under Concentrated Solar Radiation. Proceedings del XIV SolarPACES International Symposium. 2008.ç

[3.24] Téllez, F., L. González, E. Zarza, Informe de Viabilidad "Generación Solar Termoeléctrica en Costa Rica". USCS-QA-CON-01.

[3.25] Avila, A. and F.M. Téllez, "Theoretical Analysis on the Influence of Selective and Antireflective Coatings on Parabolic Trough Overall Efficiency". Congreso SOlarPACES, Berlin, Sept. 2009. ISBN: 978-3-00-028755-8

[3.26] Graggen A.Z., Haueter, P., Maag, G., Vidal, A., Romero, M., Steinfeld A. (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.

[3.27] Denk, T. Valverde, A., López, A., Steinfeld, A., Haueter, P., Zacarías L., de Jesús. J.C. and Vidal A.. "Upscaling of a 500 kW solar gasification plant for steam gasification of petroleum coke" Proceedings of EUROSUN 2008. ID 016 – pp1-8. 7th EuroSun conference, 1st International Conference on Solar Heating, cooling and buildings (EUROSUN 2008). October 7-10, 2008. Lisboa (Portugal).

[3.28] Denk, T., Valverde, A., López, A., Steinfeld, A. Haueter, P., Zacarías, L., de Jesús, J.C. and Vidal, A., " Upscaling of a 500 kW solar gasification plant for steam gasification of petroleum coke" Proceedings of SolarPACES2009. 15th SolarPACES International Symposium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies (Solar-

PACES2009). ISBN 978-3-00-028755-8. 15-18 Septiembre 2009. Berlín (Alemania).

[3.29] Rodriguez, D. (Miranda, VE), Process for converting heavy crude oils and petroleum coke to syngas using external source of radiation. US-Patent 7.176.246. February 13, 2007. Morales, A. (Caracas, VE), Blanco, J. (Tabernas, ES), Romero, M. (Madrid, ES), Steinfeld, A. (Brugg, CH).

[3.30] Z'Graggen, A. (Zurich, CH), Trommer; D. (Zurich, CH), Steinfeld,A. (Brugg, CH) ; Romero; M., (Madrid, E), De Jesus; J. C., (Miranda, VEN), Rodriguez; Domingo; (Miranda, VE) ; Morales; Alfredo; (Caracas, VE) ; Blanco, J., (Almeria, E), Haueter; P. (Aarau, CH), Apparatus for gasification of carbonaceous solid materials. US-Patent Application 20070098602. May 3, 2007.

[3.31] Informa Interno. Informe Final del Proyecto SOLTERH III Ref. SOLTERH III-MD-QA-01

[3.32] Fernández S., "Revisión Bibliográfica sobre la Producción de Hidrógeno Solar Mediante Ciclos Termoquímicos", Informes Técnicos CIEMAT, 1121, Octubre 2007, ISSN: 1135-9420.

[3.33] Fernández-Saavedra, R., Fresno, F., Sánchez, M., Gómez-Mancebo, M.B., Fernández-Martínez, R., Vidal, A., "Mixed iron oxides for solar hydrogen production through two-step water splitting thermochemical cycles". Comunicación oral.14th Biennial SolarPACES Symposium, Las Vegas, Nevada, EEUU, 4 -7 de Marzo de 2008.

[3.34] Fresno, F., Fernández-Saavedra, R., Gómez-Mancebo, M. B., Sánchez, M., Rucandio, M. I., Quejido A. J. y M. Romero, *Evaluation of commercially available ferrites for solar hydrogen production by two-step water splitting thermochemical cycles.* Cartel. 17th World Hydrogen Energy Conference, Brisbane, Australia, 15 – 19 de Junio de 2008

[3.35] Fresno, F., Fernández-Saavedra, R., Sánchez, M., Rucandio I. y Romero, M., *Ciclos termoquímicos basados en óxidos metálicos para la producción de hidrógeno a partir de agua y energía solar*. Comunicación oral. XIV Congreso Ibérico y IX Iberoamericano de Energía Solar- CIES 2008, Vigo, 17 – 21 de Junio de 2008.

[3.36] Fernández-Saavedra, R., Fresno, F., Sánchez, M., Rucandio, M.I., Gómez-Mancebo, M.B., Fernández-Martínez, R., Quejido A. y Romero, M., Water Splitting for Solar Hydrogen Production through two-step thermochemical cycles. Comunicación oral. HYCELTEC 2008 - I Symposium Ibérico de Hidrógeno, Pilas de Combustible y Baterías Avanzadas, Bilbao, 1 – 4 de Julio de 2008.

[3.37] Fresno, F., Fernández-Saavedra, R., Gómez-Mancebo, M.B., Vidal, A., Sánchez, M., Rucandio, M.I., Quejido, A.J. y Romero. M., "Solar hydrogen production by two–step thermochemical cycles: evaluation of the activity of commercial ferrites", International Journal of Hydrogen Energy, 2009, 34, 2918-2924.

[3.38] Fresno, F., Yoshida, T., Gokon, N., Fernández-Saavedra, R., Kodama, T., "Comparative study of the activity of nickel ferrites for solar hydrogen production by two-step thermochemical cycles", Enviado a revista: Energy & Environmental Science

[3.39] Roeb, M., Säck, J.-P., Rietbrock, P. Prahl, C., Schreiber, H., Neises, M., Graf, D., Ebert, M,. Reinalter, W., Meyer-Grünefeldt, M., Sattler. C., Lopez, A., Vidal, A., Elsberg, A., Stobbe, P., Jones, D., Steele, A., Lorentzou, S., Pagkoura, A.G., Zygogianni, C., Agrafiotis, A., Konstandopoulos, C., "Test operation of a 100-kW pilot plant for solar hydrogen production from water on a solar tower" 15th SolarPACES

International Symposium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies (SolarPACES2009). ISBN 978-3-00-028755-8. 15-18 Septiembre 2009. Berlín (Alemania).

[3.40] Roeb, M., Säck, J.-P., Rietbrock, P., Prahl, C., Schreiber, H., Neises, M., Graf, D., Ebert, M., Reinalter, W., Meyer-Grünefeldt, M., Sattler. C., Lopez, A., Vidal, A., Elsberg, A., Stobbe, P., Jones, D., Steele, A., Lorentzou, S., Pagkoura, C., Zygogianni, A., Agrafiotis, C., Konstandopoulos A.G., "Test operation of a 100-kW pilot plant for solar hydrogen production from water on a solar tower" Submitted to Journal of Solar Energy.

[3.41] Lopez, A., Valverde, A., Denk T. y Vidal A., "Test-bed for solar hydrogen production on a solar tower"15th SolarPACES International Symposium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies (SolarPACES2009). ISBN 978-3-00-028755-8. 15-18 Septiembre 2009. Berlín (Alemania).

[3.42] Almeida Costa, F., Oliveira, L., Guerra Rosa, J.L., Cruz Fernandes, Rodríguez, J., Cañadas, I., Martínez D., y Shohoji, N., Mechanical properties of dense cordierite discs sintered by solar radiation heating. Mater. Trans. JIM. Vol: 50, No. 9, pp: 2221-2228. 2009.

[3.43] Navarro, A., Cañadas, I., Martínez, D., Rodríguez, J., Mendoza, J.L., Application of Solar Thermal desorption to remediation of mergury-contaminated soils. Solar Energy. Vol: 83, pp: 1405 – 1414. 2009.

[3.44] Román Chacón, R., Cañadas, I., Rodríguez, J., Hernandez, T., González, M., Solar sintering of alumina ceramics: Microstructural development. Solar Energy. Vol: 82, Issue 10, Pag.893- 902. 2008.

[3.45] Cañadas, I., Cambronero, L., Martínez, D. Rodríguez, J., Technical feasibility of aluminium foaming with concentrated solar energy. Proceedings of SolarPACES2009. 15th SolarPACES International Symposium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies (SolarPACES2009). ISBN 978-3-00-028755-8. 15-18 Septiembre 2009. Berlín (Alemania).

[3.46] Cañadas, I., Llorente, J., Usero, R., Martínez, D., Rodríguez, J., Fernández, B., Vázquez, A., Reduction of synthetic hematite to magnetite with solar energy. Proceedings of SolarPACES2009. 15th SolarPACES International Symposium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies (SolarPACES2009). ISBN 978-3-00-028755-8. 15-18 Septiembre 2009. Berlín (Alemania).

[3.47] Roldán, M.I., Cañadas, I., Casas, J.L., Thermal analysis of a reactor in a Solar Furnace Receiver. Proceedings of SolarPACES2009. 15th SolarPACES International Symposium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies (SolarPACES2009). ISBN 978-3-00-028755-8. 15-18 Septiembre 2009. Berlín (Alemania).

[3.48] Herranz, G. Alonso, R. Arévalo, J. Cañadas, I. Rodríguez, G., Microstructural Evolution in Solar Sintered M2 HSS. Proceedings of EURO PM 2009. Copenhague, Dinamarca (2009).

[3.49] Herranz, G. Rodríguez, G. Cañadas, I. Casas, D., Surface hardening of Ti6Al4V by solar nitriding Proceedings of THERMEC 2009. International Conference on Processing & Manufacturing of Advanced Materials (THERMEC 2009). 25-29 Agosto 2009. Berlín (Germany).

[3.50] Herranz, G. Cañadas, I. Rodríguez, G. P., Solar sintering of M2 High Speed Steel. Proceedings of PM 2008. PM 2008. Washington (EEUU).

[3.51] Cañadas, I. Martínez, D. Téllez, F. Rodríguez, J. Mallol G., Characterization results of a new volumetric receiver for high-temperature industrial process heat in a solar furnace. Proceedings of EUROSUN

2008. ID 016 – pp1-8. 7th EuroSun conference, 1st International Conference on Solar Heating, cooling and buildings (EUROSUN 2008). October 7-10, 2008. Lisboa (Portugal).

4 Unidad de Aplicaciones Medioambientales de la Energía Solar

Responsable: Julián Blanco Gálvez

Contribuciones: Sixto Malato Rodríguez
Pilar Fernández Ibáñez
Manuel Ignacio Maldonado Rubio
Isabel Oller Alberola
Ana Zapata Sierra
Benigno Sánchez Cabrero
Raquel Portela Rodríguez
Maria Dolores Hernández
Silvia Suarez Gil
Diego Alarcón Padilla
Guillermo Zaragoza del Aguila
Elena Guillén Burrieza

4.1 Introducción

La Unidad de Aplicaciones Medioambientales de la Energía Solar tiene formalmente definido como objetivo de la misma la generación de nuevo conocimiento asociado a un desarrollo tecnológico que permita la utilización efectiva de la radiación solar en procesos de marcado carácter medioambiental, contemplando el tratamiento y depuración de agua y aire como principales núcleos de actividad. Dentro de esta Unidad, están definidas las siguientes Líneas de Actividad, estructuradas cada una de ellas en un Grupo de Trabajo diferente:

A. Procesos de Detoxificación Solar de aguas residuales y Desinfección Solar de agua (investigador responsable: Dr. Sixto Malato). Las actividades que se desarrollan dentro de esta línea de actividad incluyen, entre otras, las siguientes:
   - Desarrollo y optimización de la tecnología solar de detoxificación mediante fotocatálisis, a nivel pre-industrial, para el tratamiento eficiente de contaminantes orgánicos persistentes disueltos en agua, proceden-

tes de procesos químicos industriales y del uso intensivo de pesticidas en actividades agrícolas.
- Desarrollo de la tecnología básica para la desinfección de agua para consumo humano en localizaciones rurales de países en vías de desarrollo, mediante la aplicación de procesos fotoquímicos basados en el uso de la luz solar.
- Desarrollo de procesos que aúnen lo anterior para permitir una reutilización segura y eficiente de todo tipo de aguas que actualmente se están vertiendo al medioambiente.
- Diseño, construcción y ensayo de instalaciones tamaño piloto de los distintos desarrollos anteriores, con el fin de obtener datos básicos de viabilidad.
- Divulgación de todo lo anterior en forma de Tesis Doctorales, artículos científicos en revistas con índice de impato, etc.

B. Procesos de Detoxificación Solar en aire (investigador responsable: Dr. Benigno Sánchez), con las siguientes líneas de investigación asociada:
   - Tratamiento de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) y/o bioaerosoles mediante radiación solar y/o lámparas de diferentes longitudes de onda e intensidades lumínicas.
   - Tratamiento del aire interior de edificios. Síndrome del edificio enfermo.
   - Tratamiento de olores tanto en ambientes interiores como exteriores.

C. Procesos de Desalinización Solar de agua de mar (investigador responsable: Dr. Julián Blanco), con las siguientes líneas definidas de investigación:
   - Desarrollo de sistemas tecnológicos que permitan la incorporación de la energía solar como fuente primaria de energía a procesos de desalinización de agua de mar y salobre
   - Desarrollo de sistemas híbridos solar-gas para desalinización de agua de mar
   - Incorporación de bomba de absorción de doble efecto a plantas solares de destilación multiefecto (MED) unido a estrategias avanzadas de control
   - Aplicación de colectores estáticos de baja temperatura a procesos de desalinización solar
   - Desarrollo de tecnologías de destilación por membranas alimentadas por energía solar
   - Reutilización de salmuera en procesos de desalinización
   - Optimización de sistemas de almacenamiento térmico para la operación continuada de sistemas de desalinización solar
   - Integración de sistemas de ósmosis inversa en procesos basados en energía solar térmica

Al igual que ya ocurriera en años anteriores se ha mantenido un crecimiento constante y significativo en la actividad en todas las áreas de la unidad. Este hecho se puede constatar en todos los indicadores que pudieran ser considerados como relevantes: publicaciones científicas, número de proyectos en ejecución, presupuesto global asociado (ingresos), personal, etc. En este último tema, el de personal, se ha caracterizado también por un notable dinamismo dado el elevado interés que poseen en la actualidad todos estos temas, lo que ha dado lugar un buen número de oportunidades profesionales. Esto se ha traducido en que un buen número de investigadores "seniors" de la unidad la hayan abandonado durante estos 2 últimos años, obligando a un mayor esfuerzo a muchos de los "juniors" y al aumento de sus responsabilidades.

El total de investigadores que forman la unidad a 31 de diciembre de 2009

es de 24, siendo su desglose el siguiente: 5 investigadores funcionarios, 6 investigadores contratados, 1 contrato Ramón y Cajal, 1 contrato Juan de la Cierva, 9 investigadores predoctorales y 2 técnicos de laboratorio. El grupo de "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, durante 2008 y 2009, los ingresos medios de la Unidad han estado alrededor de los 600.000 € anuales.

Un hecho destacado y estrechamente relacionado con la Unidad ha sido el comienzo, en el año 2008, de las actividades de la Tarea VI de SolarPACES, denominada "Solar Energy & Water Processes and Applications". Esta Tarea está en la actualidad liderada por el responsable de la Unidad, lo que permitirá un mayor realce y proyección de las actividades y proyectos que se desarrollan en la PSA, en lo referente a proyectos relacionados con procesos y tecnologías del agua, principal núcleo de las Líneas de Actividad A y C indicadas anteriormente.

Publicaciones: [4.1]

4.2 Grupo de Detoxificación y Desinfección de Aguas

Durante 2008-2009 se ha continuado trabajando en actividades ya iniciadas en 2007, en un total de 4 proyectos europeos (VI Pro-grama 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 estos dos años han realizado estancias en nuestro grupo un total de más de 20 investigadores de otros centros de investigación y universidades de España, Portugal, Alemania, Argentina, Irlanda, Grecia, Sudáfrica, México, Italia, Suiza y Venezuela. Además, los doctores del grupo han co-dirigido cuatro Tesis Doctorales (Dra. Isabel Oller, Dra. Cosima Sichel, Dr. Leonidas A. Pérez y Dra. María M. Ballesteros, recogidas en las referencias de esta sección).

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 45 artículos en dos años, además de otros artículos en revistas profesionales de divulgación. Varios de ellos especialmente relevantes al ser artículos de revisión (ver referencias de esta introducción). Además, la actividad científica también se ha vista reconocida por los siguientes trabajos: 7 Tesis Doctorales en marcha, 4 libros, 1 capítulo de libro y 40 comunicaciones (20 de ellas orales o invitadas, recogiéndose las más relevantes también en esta introducción) a 12 Congresos Internacionales. Es también preciso remarcar que se han editado dos volúmenes especiales de las revistas Catalysis Today y Photochemcial and Photobiological Sciences.

Publicaciones: [4.2]-[4.16]

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: Dr. Sixto Malato, sixto.malato@psa.es
Financiación: Plan Nacional de I+D+I, MEC. Presupuesto CIEMAT: 80 K€ + 1 Beca Doctorado FPI.
Duración: Octubre 2006 – Septiembre 2009
Motivación: Diseño de reactores combinando tratamiento fotoquímico solar y biológico para depuración de aguas.

Objetivos:

1) Estudiar la detoxificación de mezclas de pesticidas mediante fotocatálisis 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 fotocatálisis.
5) Diseño y construcción de un sistema integrado fotocatálisis-biológico a escala planta piloto.
6) Evaluación de la operatividad del sistema y evaluación económica del proceso

Resultados obtenidos en 2008 y 2009: Durante 2008 y 2009 se cumplieron los objetivos previstos, abordándose principalmente las tareas relacionadas con objetivos 1, 4-6. Las técnicas de modelizado de experimentos y diseño experimental se utilizaron para la evaluación de la influencia de la fuerza iónica del agua y tipo de sales (Figura 4.1). Cl^- aumentan el consumo de H_2O_2 por la formación de $Cl^{\bullet}$ y $Cl_2^{\bullet-}$, que pueden contribuir al proceso de degradación si $[Cl^-]>$ 1000 mg/L, reduciendo el tiempo de tratamiento. La presencia de SO_4^{2-} no afecta significativamente al consumo

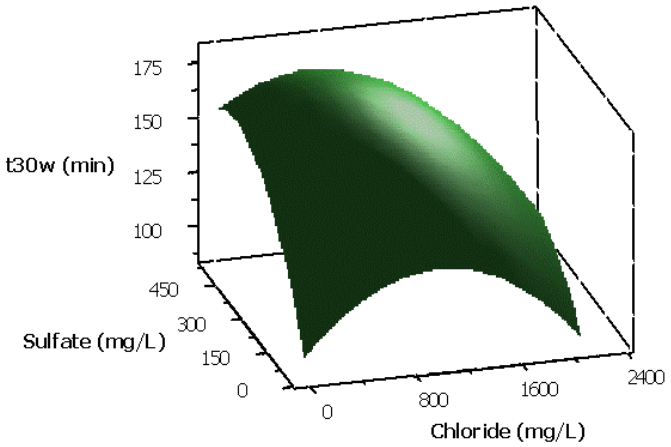


Figura 4.1 Efecto de la concentración de cloruros y sulfatos sobre el tiempo necesario de iluminación en fotorreactor solar para degradar por completo las materias activas de los plaguicidas.

de H_2O_2 en el rango estudiado, aunque sí incrementa ligeramente el tiempo de tratamiento. La presencia de SO_4^{2-} y Cl^- en el intervalo de concentraciones estudiadas (habituales en aguas residuales) no modifica significativamente el tiempo de tratamiento del proceso de Foto-Fenton.

Uno de los objetivos de este proyecto se basa en la determinación del momento óptimo durante el tratamiento de los plaguicidas con fotocatálisis solar, en el que la toxicidad de los mismos se haya reducido y la biodegradabilidad haya aumentado lo suficiente para permitir un posterior proceso biológico convencional (EDAR). Se lleva a cabo el tratamiento de la mezcla de plaguicidas, no sólo con objeto de disponer de un agua residual más acorde con la realidad, sino también con el objetivo de disponer de una concentración de COD inicial lo suficientemente elevada como para evaluar correctamente un posterior tratamiento biológico aerobio. Para ello es esencial llevar a cabo el seguimiento de la toxicidad y biodegradabilidad de la mezcla de plaguicidas durante su tratamiento fotocatalitico. En la Figura 4.2, se muestra la mineralización de la mezcla de plaguicidas partiendo de un COD inicial de 500 mg/L y la evolución de la DQO (DQO_0= 1500 mg/L) en función del consumo de H_2O_2. Al inicio del foto-Fenton el descenso de la DQO es mucho más acusado que el del COD, hasta llegar a presentar una velocidad de descenso muy similar a partir del momento en que todos los plaguicidas han sido completamente eliminados (alrededor de 20 mM de H_2O_2) y la mineralización de los mismos es más acusada (descenso de COD). En esta gráfica se representa también la variación del EOM (estado de oxidación medio) a lo largo del proceso de foto-Fenton, este parámetro asciende de forma significativa al inicio del tratamiento, y una vez eliminados todos los plaguicidas que conforman la mezcla alcanza su valor máximo (EOM = 1.5). A partir de este momento el EOM evoluciona muy lentamente, lo cual es indicativo de haber alcanzado un estado de oxidación muy avanzado y un posible aumento de la biodegradabilidad de la mezcla.

Desde el punto de vista de la toxicidad, la aplicación del proceso de foto-Fenton para el tratamiento de la mezcla de plaguicidas debe mantenerse al menos unos minutos más tarde de la completa degradación de los mismos,

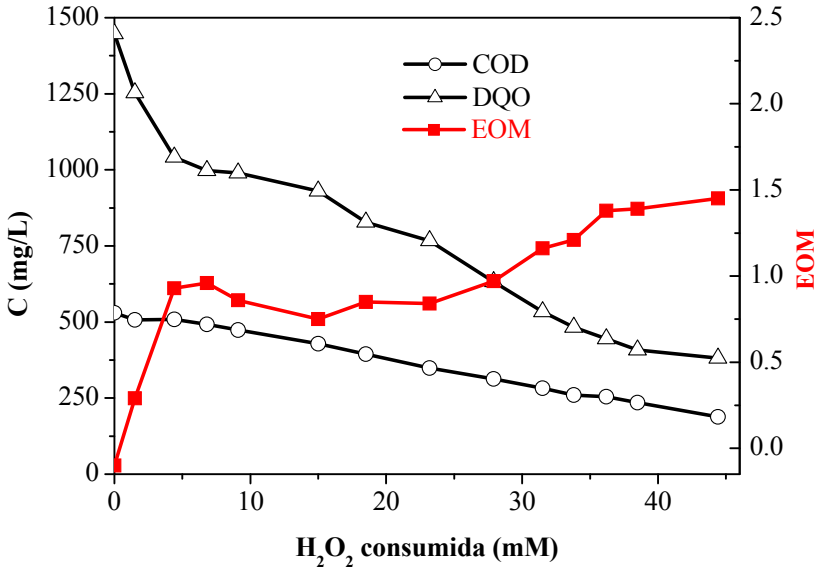


Figura 4.2 COD, DQO y EOM durante el tratamiento mediante foto-Fenton de la mezcla de plaguicidas.

momento a partir del cual comienza a descender la toxicidad. A partir de aquí, sería necesario realizar ensayos de biodegradabilidad con fangos activos (Zahn-Wellens) y acotar, así, el intervalo de COD en el que podría verterse el agua en un tratamiento biológico. Se realizó, pues, el ensayo de biodegradabilidad mediante Zahn-Wellens y se comprobó la no biodegradabilidad de aquellas muestras con un COD superior a 420 mg/L. Sin embargo, todas las muestras con un COD por debajo o igual a 400 mg/L son biodegradables. Se puede concluyó, por tanto, que mediante la combinación de los análisis toxicológicos y de biodegradabilidad, se ha encontrado el momento óptimo durante el tratamiento fotocatalítico mediante foto-Fenton a partir del cual la biodegradabilidad de la mezcla ha mejorado lo suficiente como para ser vertida a un tratamiento biológico mediante fangos activados. Este momento se corresponde con la completa o casi completa eliminación (escasos mg/L) de todos los plaguicidas y un porcentaje de eliminación del COD ≥ 20% y de la DQO ≥ 60%.

Es preciso contrastar estos resultados con otras concentraciones diferentes de plaguicidas y mediante la utilización de otras técnicas de evaluación de toxicidad y biodegradabilidad como la respirometría. Para ello se realizaron diferentes experimentos, quedando el de mayor concentración resumido en Figura 4.3. TOC inicial de la mezcla fue también de 500 mg/L. Las muestras con importantes concentraciones de materias activas (plaguicidas) son tóxicas. Estos resultados obtenidos en experimentos con un TOC inicial de 500 mg/L son realmente prometedores para poder abordar un tratamiento exitoso del agua en un bioreactor industrial. A partir de aquí se validaron estos resultados en reactor comercial (Figura 4.4) con un sistema de CPCs de 150 m^2 en un fotoreactor de 1060 L acoplado a un reactor (IBR) biológico de biomasa inmovilizada (2 x 1230 L) colonizado mediante fangos activados de EDAR, también con una mezcla de plaguicidas comerciales (Vydate®, Metomur®, Couraze®, Ditimur-40® y Scala®) a 500 mg/L de DOC. Se ha demostrado que el proceso de foto-Fenton es capaz de conseguir la biodegradabilidad de contaminantes biorecalcitrantes, pero después de una optimización del tiempo de tratamiento y de la dosis de H_2O_2.

Publicaciones: [4.17]-[4.37]

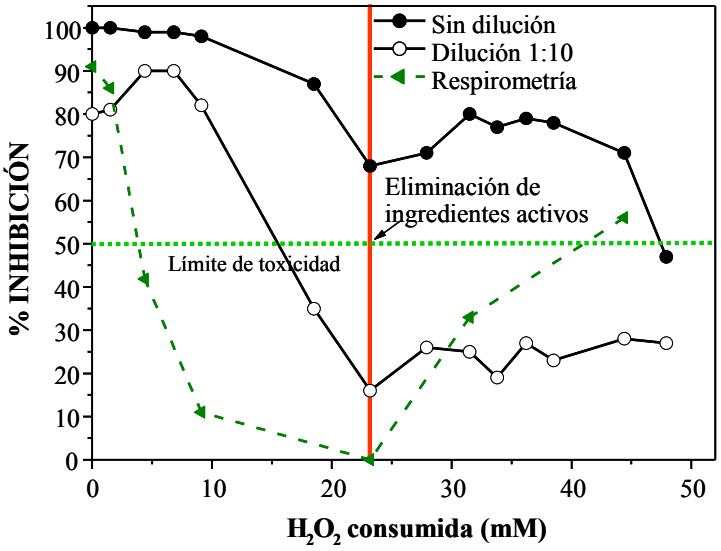


Figura 4.3 Toxicidad (expresada como % de inhibición) evaluda mediante *Vibrio fischeri* y fangos activados de muestras parcialmente tratadas mediante foto-Fenton.

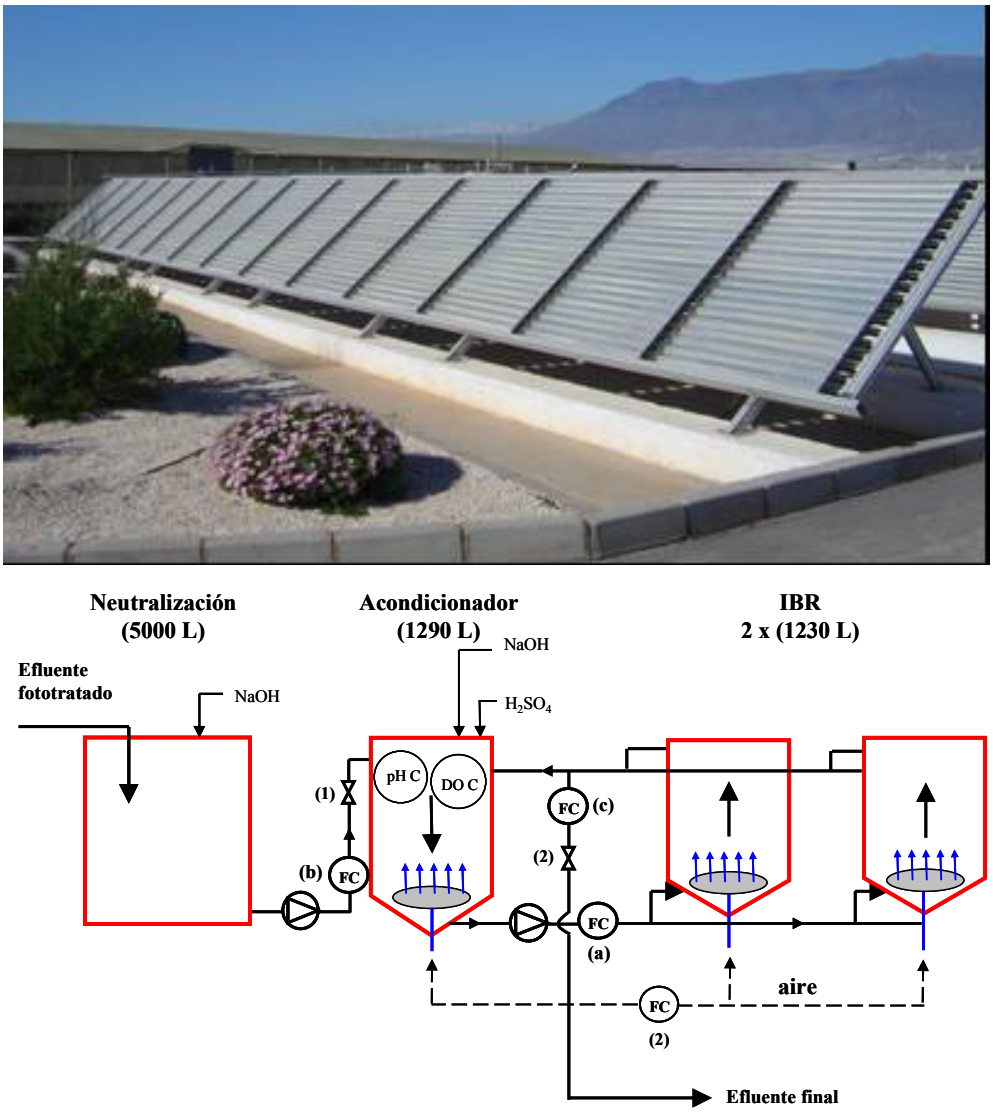


Figura 4.4 Vista de una de las filas del campo de CPCs (arriba) y diagrama de flujo del bioreactor (abajo).

4.2.2 PhotoNanoTech

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

http://www.photonanotech.eu/

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), Tecnologie Biomediche (I), Inotex spol s r.o. (RCH) y Perca Ltd. (BLG).

Contacto: Dr. Sixto Malato, sixto.malato@psa.es
Dr. George Georgiev, georgs@chem.uni-sofia.bg

Financiación: EC, VI-PM. Nano-biotechnologies: Using nature as model for new nantotechnology-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 afecto 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 comonómeros con grupos cromóforos) utilizando comonómeros zwiteriónicos y demostrar sus distintos potenciales de innovación en las siguientes aplicaciones: (i) fotocatálisis 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.

Resultados obtenidos en 2008 y 2009: Todos los primeros experimentos se han realizado con fotocimas sintetizadas en el laboratorio del coordinador (Universidad de Sofia) y esto ha supuesto ensayar con hasta 40 fotocimas, desde algunas basadas en Rose Bengal, Dextran-Rose Bengal and Chitosin Eosin (Figura 4.5), otras basadas en polímeros Poli(Estirenosulfonato-co-Vinil Bencenocloruro) con Fluoresceina, Poli(Estirenosulfonato-co-Vinil Bencenocloruro -co- 4-Aminoftalocianina), Poli(Estirenosulfonato-co-Vinil Bencenocloruro -co-Vinil carbazol) con Fluoresceina, o bien estos mismo polímeros fijados sobre minerales de hierro como Goetita, Lepidocrocita, Magnetita, Limonita y

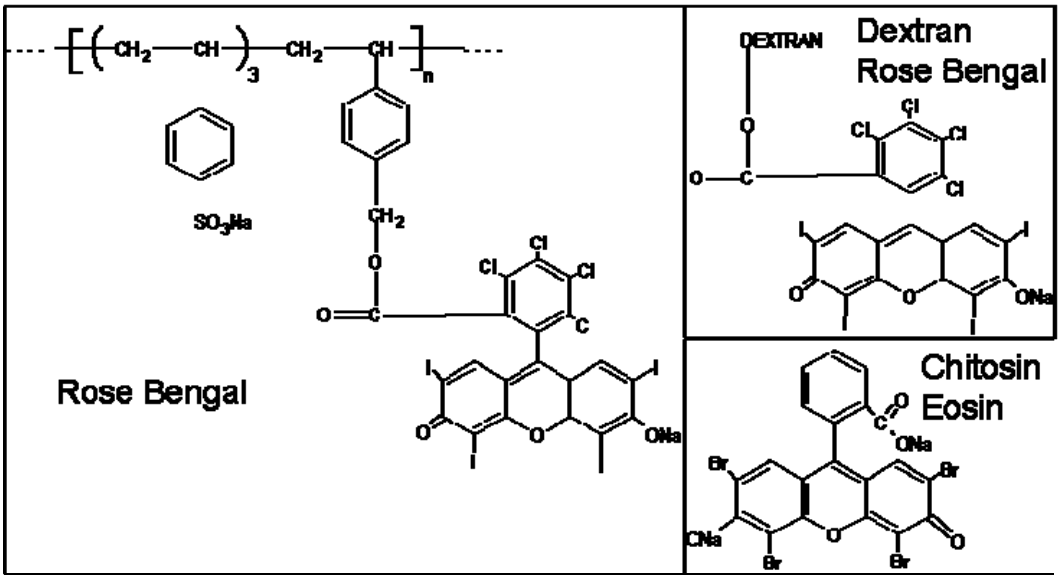


Figura 4.5 Algunas fotocimas basadas en colorantes de las ensayadas en la PSA en proyecto Phonanotech.

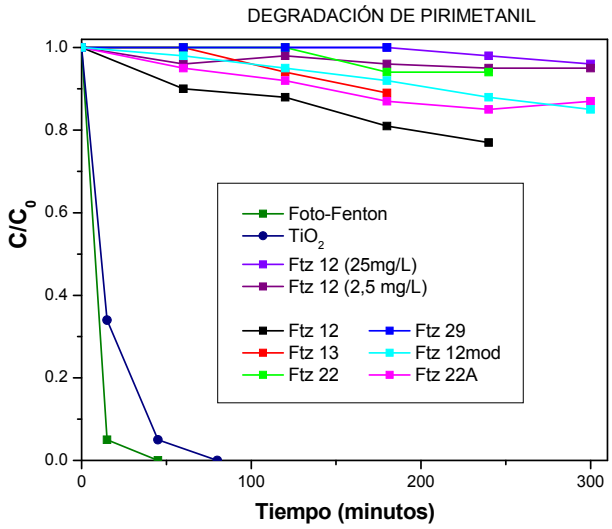


Figura 4.6 Comparación entre algunas de las fotocimas ensayadas y los procesos más convencionales de TiO_2 y foto-Fenton aplicados a la degradación de pirimetanil.

Chematita. Solo en algunos casos se han obtenido resultados prometedores, siendo la fotocima suficientemente activa a la irradiación solar y alcanzándose una degradación relevante de algún contaminante modelo (fenol, atracina, pirimetanil, etc). Sin embargo, los resultados obtenidos muestran que es preciso abundar más aún en el desarrollo de las fotocimas para poder alcanzar las eficiencias obtenidas con otros catalizadores ya conocidos como el TiO_2, o mediante el proceso de foto-Fenton.

En general, las fotocimas son capaces de degradar los contaminantes como se muestra en la Figura 4.6, pero a una velocidad de reacción mucho más lenta. En algunos casos incluso se ha detectado que las fotocimas se degradan lentamente ya que se podía apreciar una subida en el contenido en carbono orgánico disuelto en el agua. Esto no es ni mucho menos deseable ya que no solo se pierde eficiencia en la fotocimas, sino que además se está enriqueciendo el agua en un compuesto orgánico no deseable. También se apreció que en aquellos casos en los que la fotocimas era exitosa en la degradación del contaminante, no se producía una bajada significativa del contenido en carbono orgánico del agua. Esto significa que la fotocima no es capaz de mineralizar los productos generados a partir del compuesto original. Esto es también un serio inconveniente para la aplicación de las fotocimas en la descontaminación de agua. Por tanto, el proyecto sigue su curso intentando sintetizar la Univ. de Sofía nuevas fotocimas que se adapten mejor a la aplicación de descontaminación de agua.

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: Dr. Sixto Malato sixto.malato@psa.es
Dr. Antonio López, antonio.lopez@ba.irsa.cnr.it
Financiación: VI-PM. Global Change and Ecosystems.; 2.750 k€. Presupuesto CIEMAT: 350 K€.
Duración: Nov 2006 – April 2010

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

Objetivos: (i) Investigar e ampliar el rendimiento de opciones prometedoras para el tratamiento de aguas residuales industriales, como p.ej. la granulación aeróbica, la combinación de procesos de oxidación avanzada con 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 interesado y usuarios finales dentro y fuera del ámbito del proyecto.

Resultados obtenidos en 2008 y 2009: Durante estos dos años se ha trabajado en optimizar el tratamiento combinado foto-Fenton/biológico de diversas aguas residuales industriales. Una de ellas procedente de la empresa Austep (síntesis de ácido nalidíxico). Esta agua contiene una cantidad importante de compuestos biodegradables, siendo el ácido nalidíxico el objetivo a eliminar en el tratamiento combinado ya que no es biodegradable. Otra de las aguas ha sido aquella procedente de lavar el plástico triturado de envases de plaguicidas. Para ello se ha utilizado una combinación entre tratamiento solar y un reactor con biomasa fijada sobre un lecho fijo. En el primer caso, el tratamiento combinado foto-Fenton biológico llevó a la mineralización del 95% del COD (COD_0= 775 mg/L), siendo el acido nalidíxico y el 33% del COD eliminado mediante foto-Fenton y 62%mediante tratamiento biológico. Sin embargo, y teniendo en cuenta que el agua residual contiene fundamentalmente compuestos biodegradables, la combinación biotratamiento/foto-Fenton fue aún más exitosa alcanzándose un 97% de eliminación del COD, y además con una eficiencia muy superior en cada uno de los parámetros fundamentales del tratamiento (21 min frente a 350 min de foto-Fenton, 12 mM de consumo de H_2O_2 frente a 65 mM y 4 días de biotratamiento frente a 6 días). Además de esto, se demostró fehacientemente la idoneidad el proceso mediante el análisis realizado mediante un equipo de HPLC-TOF-MS. La Figura 4.7 muestra análisis de agua residual conteniendo ácido nalidíxico (NXA) antes y después del tratamiento. La mayor parte del contenido orgánico se ha eliminado mediante el tratamiento biológico, pero solo después del proceso mediante foto-Fenton solar se consiguen eliminar por completo los contaminantes.

En el caso de aguas procedentes de lavar el plástico triturado de envases de plaguicidas, la combinación biológico/foto-Fenton es inviable por la elevada toxicidad y baja biodegradabilidad del agua residual. Por tanto, solo es posible un pretratamiento mediante foto-Fenton para reducir esa toxicidad y conseguir un nivel adecuado de biodegradabilidad, antes de proceder al tratamiento biológico. Esta agua es de una especial dificultad ya que contiene compuestos plaguicidas tan diversos como Imidacloprid, Dimetoato, Pirimetanil, Tiacloprid,

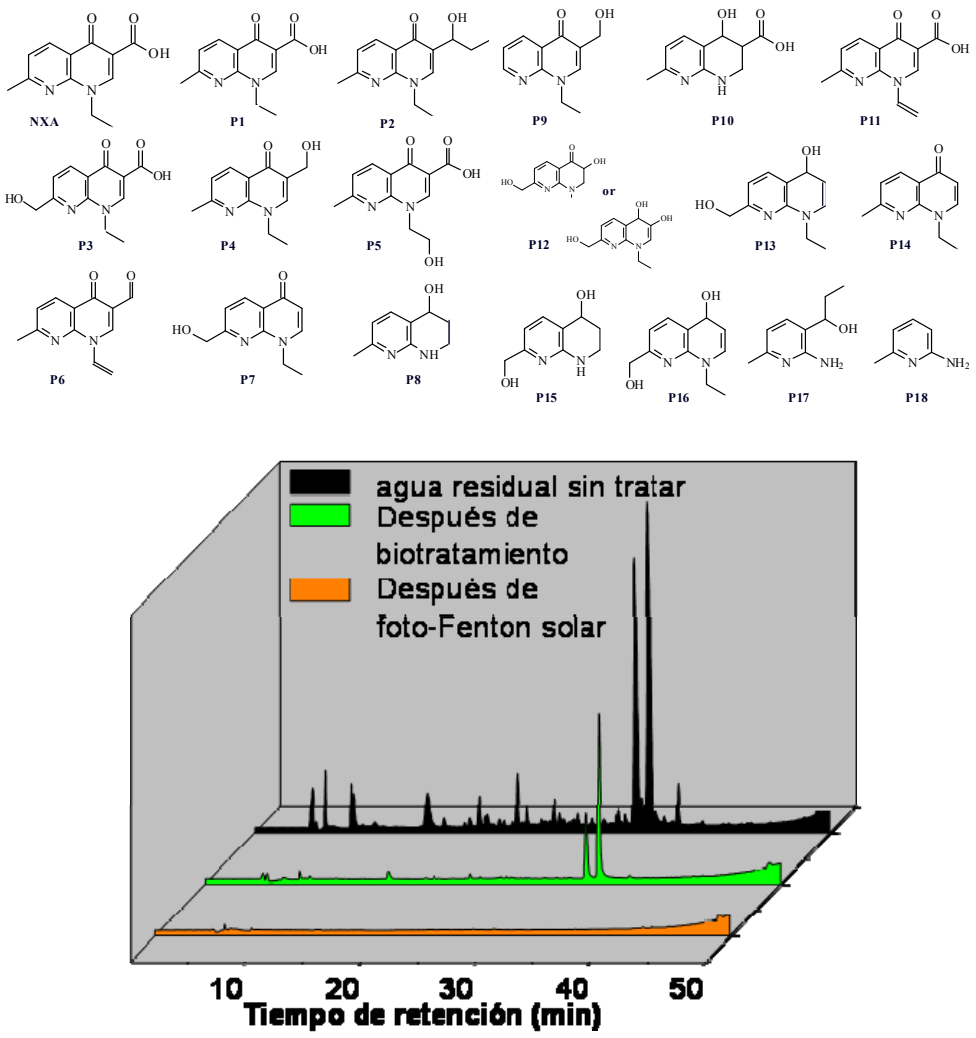


Figura 4.7 Composición cualitativa de agua residual de farmacéutica (arriba) y resultados analíticos (HPLC-TOF-MS) después del tratamiento (abajo).

Carbofurano, Metalaxilo, Spinosino-a, Bupirimato, Fenamifos, Azoxistrobin, Malation y Tebufenozida (todos ellso determiando mediante HPLC-TOF-MS). Sin embargo, el tratamiento es efectivo hasta alcanzar concentraciones ínfi-

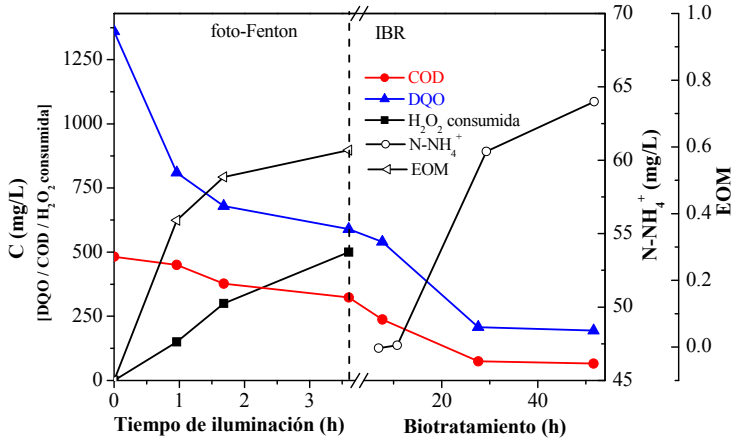


Figura 4.8 Mineralización de COD y DQO, consumo de peróxido de hidrogeno, estado de oxidación medio y evolución del amonio en el sistyema combinado foto-Fenton/biológico.

mas (eliminación total o como mucho 0.1 mg/L solo en los casos de pirimetanil y tiacloprid) en el efluente. La Figura 4.8 muestra el resultado del tratamiento global, que se completa en dos días.

Publicaciones: [4.38]-[4.52]

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., IRL), UU (UK), CSIR (ZA), EAWAG (CH), IWSD (ZW), CIEMAT-PSA (ES), UI (UK), ICROSS (Kenya), USC (E).

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

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

Duración: Sept 2006 – Enero. 2010

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

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

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

- Demostración de que la técnica SODIS esa apropiada y efectiva para descontaminar agua de consumo humano en pequeñas comunidades de países en vías de desarrollo que no tienen fácil acceso a "agua segura". Su aplicación será igualmente eficaz en situaciones de catástrofes o accidentes naturales en las que el acceso a agua potable sea difícil.
- Ensayo y evaluación de distintas estrategias de difusión de la información y de cambios de comportamiento frente a la adopción SODIS como técnica de tratamiento de agua potable en zonas de distinto perfil sociocultural.
- 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 co-

mo medida de intervención de calidad dentro de los estándares de tratamiento de agua (p. ej. filtración, cloración, desalación, etc.).

- Desarrollo de un conjunto de mejoras tecnológicas del proceso SODIS, a utilizar dependiendo de las condiciones socio-económicas, basadas en el uso de indicadores de dosis ultravioleta para desinfección, de fotocatalizadores activos bajo radiación solar y de módulos de colectores solares (CPCs).

Los objetivos científicos del proyecto son: (i) Estudio del efecto que sobre la salud tiene el consumo de agua tratada con SODIS en cuatro países de África; (ii) análisis de la relación entre agua desinfectada con SODIS y determinados indicadores de salud (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 trabaja 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.

Resultados obtenidos en 2008 y 2009: Durante los años 2008 y 2009 se han evaluado las posibilidades de desarrollar distintos foto-reactores de desinfección solar de distintos patógenos susceptibles al tratamiento SODIS, para el tratamiento de un volumen de agua de más de 25 litros al día. Como consecuencia de estos trabajos, se han construido y evaluado dos sistemas nuevos.

El primero es un sistema secuencial de lotes de 2.5 litros de agua contaminada por lote. Consta de un tanque de agua contaminada (tanque de alimentación), un sistema de captación solar tipo CPC con un tubo de vidrio pyrex de 2.5L, un tanque de recogida del agua tratada (tanque de almacenamiento), dos válvulas de apertura y cierre automáticos y un sistema de control que mide y calcula la dosis de radiación UV solar recibida a lo largo del tiempo de exposición. Cuando el agua contenida en el captador solar recibe una dosis superior a un cierto valor ('dosis letal'), el sistema de control abre la válvula que da salida del agua tratada al tanque de almacenamiento y luego abre la válvula que llena el tubo de agua contaminada. De esta forma, se pueden tratar hasta 50 litros de agua contaminada de bacterias en un día de pleno sol

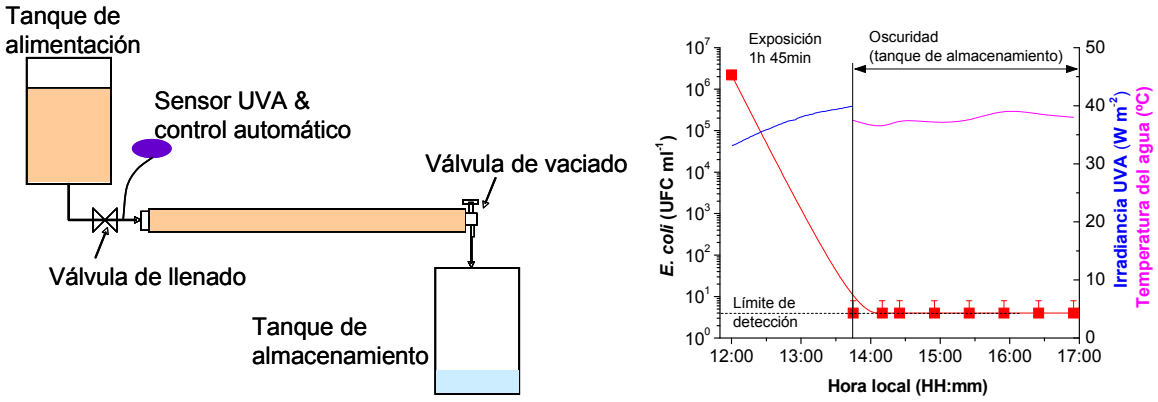


Figura 4.9 Diagrama general de diseño del sistema de desinfección SODIS secuencial (izda.). Figura de desinfección de agua contaminada con 10^6 UFC/mL de *Escherichia coli* (dcha.).

en la Plataforma Solar de Almería (Figura 4.9). La estimación de la radiación UVA solar se puede llevar a cabo con medidas de la radiación en una longitud de onda de 380 nm.

El segundo sistema SODIS desarrollado consiste en una botella de metacrilato de 25 litros de volumen total ubicada en el foco de un captador CPC construido para un diámetro de 20 cm. Este reactor permite tratar agua contaminada de bacterias (*Escherichia coli*, 10^6 UFC/mL) en un día soleado. Los días nublados requiere al menos siete horas de exposición al sol (Figura 4.10). Este sistema ha servido para analizar la desinfección solar de agua contaminada por ooquistes de *Criptosporidium parvum*.

Publicaciones: [4.53]-[4.73]

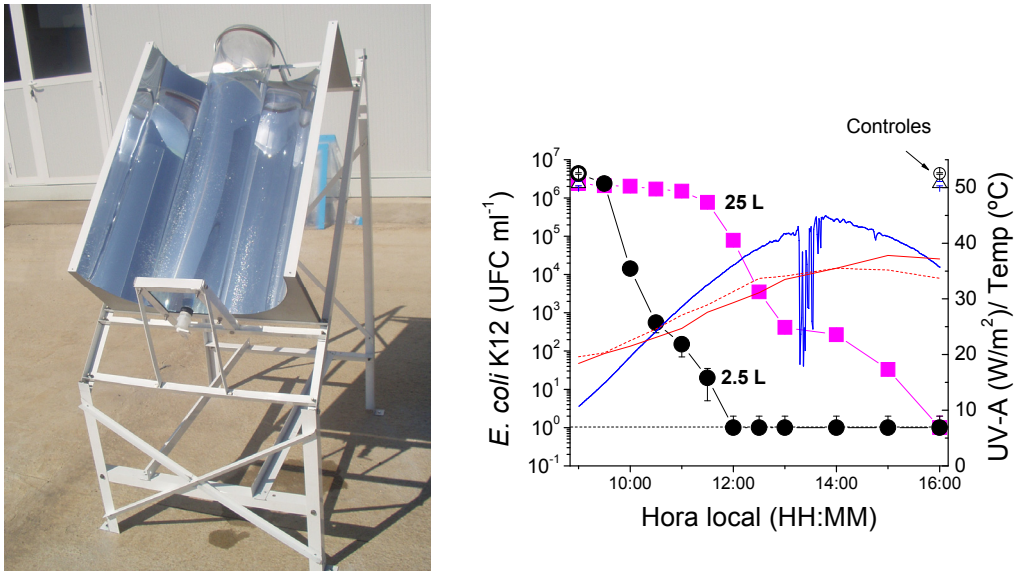


Figura 4.10 Foto del reactor SODIS-CPC de 25 litros (izda.). Figura de desinfección de agua natural de pozo contaminada con 10^6 UFC/mL de *Escherichia coli* en un sistema de 2.5L (círculos) y en el de 25L (cuadrados) (dcha.).

4.2.5 FITOSOL

Eliminación de fitopatógenos en agua mediante fotocatálisis: 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 (coordinator).
Contacto: Dr. Pilar Fernández-Ibáñez, pilar.fernandez@psa.es
Financiación: Plan Nacional de I+D+I, MEC. Presupuesto CIEMAT: 117 K€ + 1 Beca Doctorado FPI.
Duración: Oct 2006 – Sept. 2009

Motivación: Este proyecto tiene como motivación la destrucción de microorganismos fitopatógenos mediante tratamientos fotocatalíticos con radiación solar (utilizando un semiconductor no soluble como el dióxido de titanio y procesos de foto-Fenton), evitando el uso de desinfectantes químicos convencio-

nales (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. *radicis-cucumerinum*, hongo no zoosporangiado motivo de importantes pérdidas en aquellas explotaciones donde aparece y *Olpidium 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 fotocatálisis 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.

Resultados obtenidos en 2008 y 2009: Se han llevado a cabo los trabajos relacionados con las tareas de estudio de desinfección fotocatalítica de fitopatógenos a escala de laboratorio y de diseño, construcción y evaluación de un sistema experimental piloto. En función de los resultados obtenidos en 2007, durante el que se hicieron diversas series experimentales 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 parámetros de ingeniería y se ha realizado el siguiente diseño.

Finalmente, el diseño del prototipo queda reflejado en la Figura 4.11 y una foto del prototipo construido en la Figura 4.12. Este sistema de tratamiento permite desinfectar 60 litros de agua contaminada en cada lote y su caudal de trabajo idóneo es de 30 litros por minuto. Las características fundamentales del sistema se dan en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Características principales del prototipo desarrollado para el proyecto.

Volumen total tratado	60 L (cada lote)
Caudal	30 $L \cdot min^{-1}$
Velocidad lineal	0.31 $m \cdot s^{-1}$
Recirculación	Bomba centrífuga de 150 W_e
Área de captación solar CPC	4.5 m^2
# Módulos / # tubos	2 CPC / 20 tubos
Longitud total tubo / iluminada	1500 mm / 1400 mm
Transmisión tubo (l de corte)	90% en UVA (280 nm)
Espejos CPC	CF=1, Al anodizado de alta reflectividad.
Volumen iluminado (Virr./Vtot)	45 L – 75% del vol. Total

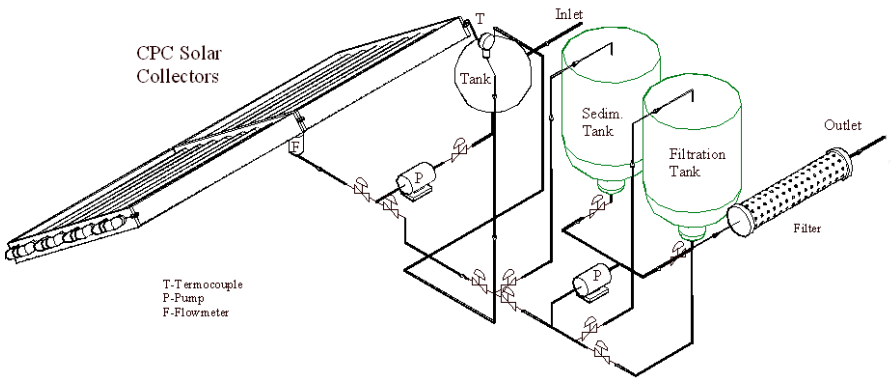


Figura 4.11 Diagrama general de diseño del prototipo de foto-reactor para desinfección con procesos de oxidación avanzada promovidos por radiación solar.

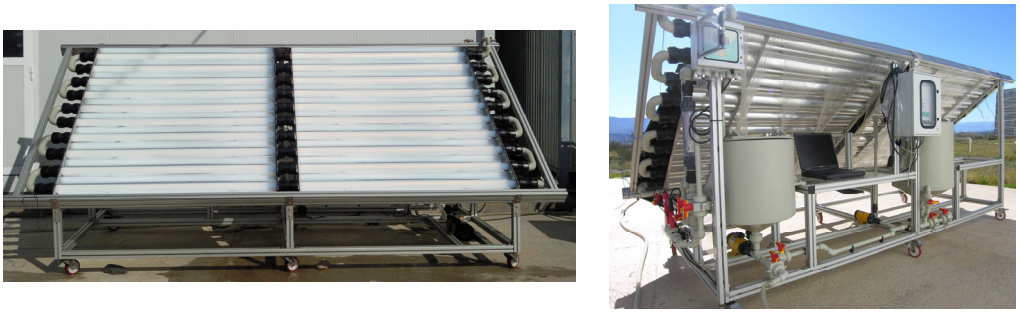


Figura 4.12 Vista frontal y trasera del prototipo FITOSOL.

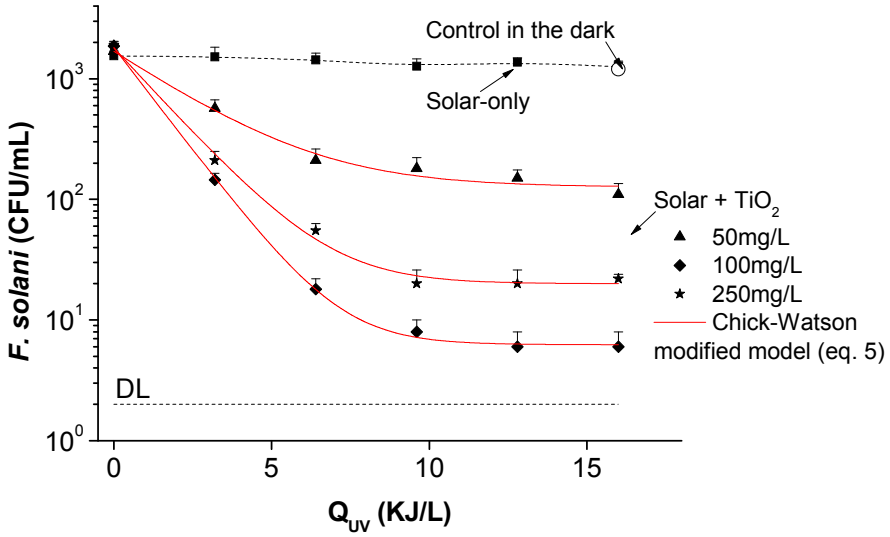


Figura 4.13 Viabilidad de esporas de *F. solani* en agua destilada frente a la densidad de energía solar recibida (QUV) durante experimentos de fotocatálisis solar con TiO_2 a 10, 50, 100, 250 y 500 mg/L en el foto-reactor CPC.

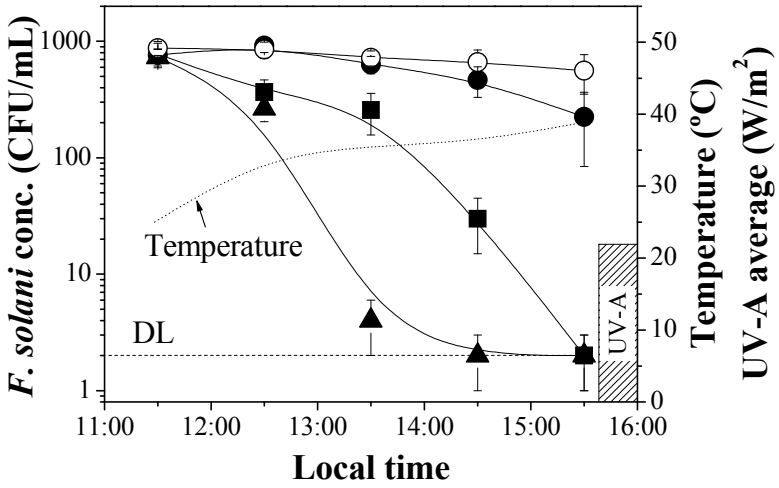


Figura 4.14 Exposición de *F. solani* a la radiación solar en reactores de botella con distintas concentraciones de H_2O_2 de 5 mg/L (–●–), 10 mg/L (–■–) y 50 mg/L (–▲–) en agua de pozo. El ensayo blanco se hizo sin H_2O_2 (–○–).

Se ha observado que la desinfección fotocatalítica con TiO_2 a 50 y 100 mg/L de catalizador mejora sustancialmente con este nuevo prototipo si se compara con los resultados obtenidos previamente en otros fotorreactores anteriores (Figura 4.13).

Se realizó un estudio del efecto fungicida que tienen el peróxido de hidrógeno en concentraciones bajas en presencia de radiación solar. Los resultados muestran una importante sinergia entre el peróxido de hidrógeno y la radiación solar que produce una inactivación completa de las esporas de *Fusarium* incluso en agua natural de pozo (Figura 4.14).

Publicaciones: [4.74]-[4.85]

4.2.6 Plan Nacional de Acceso a la PSA

Participantes: Universidad de Santiago de Compostela; Universidad de Extremadura; Universidad de Zaragoza; Universidad de Barcelona; Universidad Politécnica de Valencia; IIQAB-CSIC; IDAEA-CSIC.
Contacto: Dr. Manuel I. Maldonado. mignacio.maldonado@psa.es
Financiación: Plan Nacional de I+D+i, MEC.
Duración: 2008 – 2009

Motivación: Dado que una de las líneas directrices del CIEMAT es fomentar el conocimiento de las energías renovables en la sociedad española, éste ha puesto a lo largo de 2008-2009 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 (Proyecto GIC-05-17).

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 se tiene también la intención de 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 2008-2009: Los investigadores seleccionados por el comité de evaluadores externos 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, Elvira Ares Mazás y María Fontán.

Se ha demostrado la inactivación de ooquistes de C. parvum en agua con radiación solar natural en las instalaciones de la Plataforma Solar de Almería. Además, se ha probado que se puede inactivar agua contaminada con C. Parvum con aguas turbias, aunque con menor eficiencia que las aguas más transparentes. Otro aspecto de este trabajo marcó como objetivo comprobar la eficacia de la técnica SODIS sobre la viabilidad ooquística de Cryptosporidium parvum utilizando:

- Foto-reactores estáticos CPC a escala piloto (25 litros).
- Catalizadores inmovilizados como mejora fotocatalítica.

Los resultados más relevantes que se han obtenido fueron:

Se ha demostrado que es posible inactivar en el reactor solar empleado un volumen de 25 litros de agua contaminada con ooquistes de *Criptosporidium* parvum en 8 horas de exposición solar del 90% al 20% de viabilidad global con agua transparente (0 NTU). La eficacia de inactivación decrece a medida que aumenta la turbidez: a 30 NTU el descenso de viabilidad global es de un 40%.

Sin embargo, no se observan diferencias entre los resultados de desinfección obtenidos en el sistema fotocatalítico en ausencia y presencia de catalizador

Universidad de Extremadura. Departamento de Ingeniería Química y Química Física. Investigadores: Guadalupe Fernández y Eva María Rodríguez.

Los objetivos que se fijaron fueron llevar a cabo el estudio de la aplicación de distintos Procesos Avanzados de Oxidación basados en el empleo de la luz solar en la degradación de Bifenol A (BFA) en disolución acuosa. Los sistemas a ensayar fueron los siguientes: Fe_3^+, ferricarboxilatos, H_2O_2, foto-fenton, TiO_2, Fe_2O_3, FeO y $KMnO_4$/Mn(II) (todos ellos en presencia de luz solar), así como diversas combinaciones de los distintos procesos.

Se comparó la eficacia de los sistemas analizando la evolución de la concentración de BPA, la concentración de Carbono Orgánico Total (COT) y de la toxicidad de las muestras, en función de la dosis de radiación.

Se ha demostrado que bajo las condiciones experimentales aplicadas en este trabajo, a pH 3 los procesos Fenton y foto-Fenton fueron los más efectivos en la degradación del BPA y sus intermedios de reacción. A ese pH, la mayor mineralización fue alcanzada mediante foto-Fenton y el proceso TiO2/Fe(III). A pH6.5, la mayor velocidad de degradación para el BPA fue alcanzada al aplicar el proceso Fe(III)/ácido oxálico, siendo el proceso TiO_2/UV (independientemente de la presencia de α-Fe_2O_3) el más efectivo en términos de la oxidación de los intermedios de degradación, teniendo el α-Fe_2O_3 efectos positivos en términos de mineralización. En cuanto a la toxicidad, existe una obvia relación entre la reducción del COT y la toxicidad. Así, la toxicidad cae del 70% al 30% cuando se alcanza un 20% de mineralización. No obstante, se observa un incremento de la toxicidad al comienzo del tratamiento Fenton y foto-Fenton, debido a la acumulación de intermedios de degradación de naturaleza fenólica determinados por GC-MS y el método de Folin-Ciocalteau.

Universidad de Zaragoza. Departamento de Ingeniería Química y Tecnologías del Medio Ambiente / Grupo Calidad y Tratamiento de Aguas. Investigadora: Rosa Mosteo.

Los objetivos que se marcaron fueron aplicar la tecnología disponible en las instalaciones de la Plataforma Solar de Almería basada en fotorreactores a escala planta piloto en la degradación de la materia orgánica presente en los vertidos vinícolas.

Se llevó a cabo la fotólisis y la fotocatálisis heterogénea (TiO_2) de vertidos vinícolas, con vertidos procedentes de vino y de mosto, en un reactor CPC. La influencia de la concentración de TiO_2 ha sido evaluada. Los resultados revelan que la fotolisis, por sí misma, produce una muy pequeña mineralización del contenido orgánico de este tipo de aguas. Los experimentos realizados con 200 mg L^{-1} de TiO_2 alcanzan un descenso del COT del 8% para las aguas procedentes del mosto y un 10% para las aguas procedentes del vino. Si se incrementa la concentración de catalizador de 200 mg L^{-1} a 500 mg L^{-1} con aguas de vertido procedentes del vino, no se consigue un descenso del COT significativo, alcanzando un descenso del 10% después de 400 minutos de iluminación, lo mismo que para una concentración de 200 mg L^{-1} de concentración. Como se puede deducir el dióxido de titanio con iluminación solar no es muy eficiente, incluso cuando la concentración de catalizador se incrementa, en cuanto al descenso del valor del COT presente en este tipo de aguas.

La Figura 4.15 presenta la aplicación del método de foto-Fenton a vertidos vinícolas (procedentes de vino o mosto). Los experimentos fueron realizados con una adición inicial de Fe_2+ = 55 mg L^{-1} y pH3. La concentración inicial de peróxido fue de 12 mM y se mantuvo constante, mediante sucesivas adiciones, a lo largo del experimento. Se puede observar que tras 500 minutos de iluminación y con un gasto de peróxido de hidrógeno de 151 mM se alcanzó una mineralización del un 54% con respecto al inicial. Estos resultados no son particularmente excepcionales ya que se ha utilizado altos tiempos de reacción y se ha consumido una alta cantidad de H_2O_2.

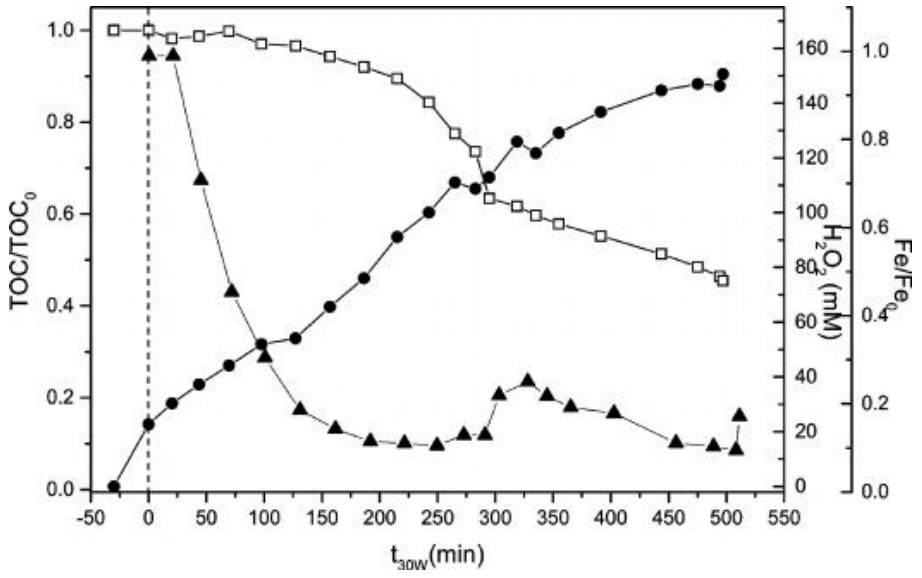


Figura 4.15 Tratamiento mediante foto-Fenton de vertidos vinícolas pro-cedentes de vino usando reactores CPC. Evolución del COT (□), peroxido de hidrógeno (●) e hierro (▲) durante la reacción. Condiciones experimentales: $[Fe^{2+}]_0$ = 55 mg/L, $[H_2O_2]$ = 12 mM; inicial pH = 3.

Una posible explicación podría ser la rápida desaparición del hierro del medio de reacción debido a la formación del acomplejamiento del hierro con algunos compuestos presentes en este tipo de aguas. La rápida desaparición del hierro del medio de reacción se puede observar en la Figura 4.15, especialmente en los primeros 100 minutos de reacción.

CSIC. Centro de Investigación y Desarrollo (CID). Departamento de Química Industrial. Instituto de Investigaciones Químicas y Ambientales (IIQAB). Investigadora: Jelena Radjenovic.

La viabilidad técnica y el rendimiento de la degradación fotocatalítica del fármaco anti-inflamatorio acetaminofen (ACTP) y el ß-bloqueante atenolol (ATL) han sido estudiados en una planta piloto de Colectores Cilindroparabólicos Compuestos (CPCs) bajo radiación solar. Fotocatálisis heterogénea con dióxido de titanio (TiO_2) y fotocatálisis heterogénea mediante foto-Fenton fueron investigados con dos tipos diferentes de matrices: agua destilada y efluentes sintéticos de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales. Las concentraciones iniciales de los fármacos estudiados fueron 10 mg L^{-1}, mientras que las concentraciones de los catalizadores empleados fueron 200 mg L^{-1} de TiO_2 y 5 mg L^{-1} de hierro. La total desaparición de los compuestos de partida y una moderada mineralización fueron obtenidas en todos los compuestos. Los principales intermedios de degradación del atenolol han sido elucidadas estructuralmente mediante tanda de espectrometría de masas (MS2) utilizando un espectrómetro de masas basado en cuadrupolo y tiempo de vuelo (QqToF) y su acoplamiento a un UPLC (cromatógrafo de líquidos de ultra rendimiento). Seis productos de transformación han sido caracterizados, formados por el ataque consecutivo del radical hidroxilo (•OH). La ruta de degradación del atenolol mediante TiO_2 y foto-Fenton ha sido descrita por primera vez (Figura 4.16).

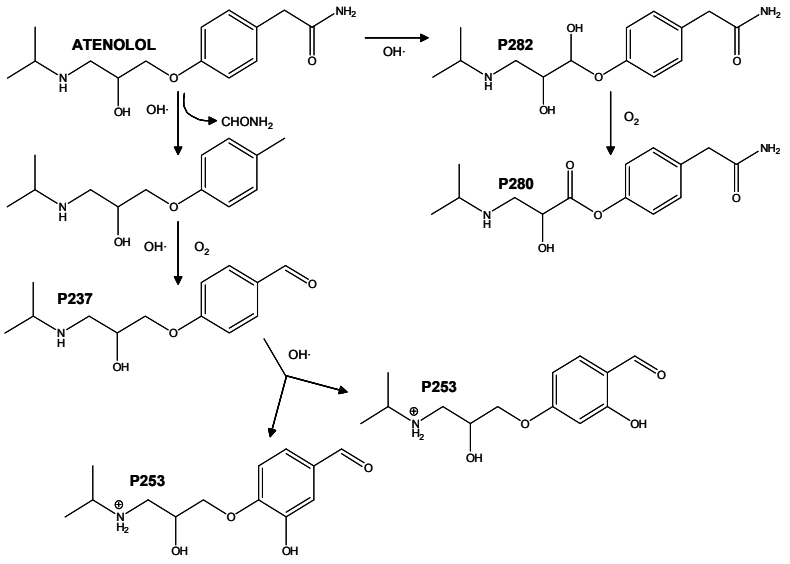


Figura 4.16 Ruta de degradación fotocatalítica propuesta para ATL en disolución acuosa mediante TiO_2 y foto-Fenton Solar.

Universidad Politécnica de Valencia. Escuela Técnica Superior de Alcoy. Departamento de Ingeniería Textil y Papelera. Investigadores: Juan Soler y Lucas Santos-Juanes.

Se ha determinado el tiempo adecuado de tratamiento por foto-Fenton de aguas conteniendo una mezcla de plaguicidas comerciales (Ultracid®, Sevnol®, Laition®, Metasistox®) para conseguir una aceptable pérdida de toxicidad y un

considerable aumento de la biodegradabilidad. Estos experimentos se han realizado tanto a escala laboratorio como en planta piloto. No obstante, las aguas reales pueden contener especies que pueden interferir en el proceso de depuración. Ya han sido estudiadas las interferencias producidas por aniones y cationes a escala laboratorio y en planta piloto. Otras de las especies que pueden resultar de especial interés son los tensoactivos y disolventes orgánicos que pueden aumentar el tiempo de tratamiento para llegar a las condiciones finales deseadas. Los primeros experimentos a escala laboratorio indican que la presencia de estos compuestos orgánicos disminuyen la velocidad del proceso de degradación de los plaguicidas. Por ello resulta interesante aplicar el tratamiento de foto-Fenton en presencia de estas sustancias y estudiar el efecto que producen en diversos parámetros como la desaparición de los principios activos, la evolución del carbono orgánico, el consumo del peróxido de hidrógeno, la presencia del hierro en disolución etc. realizando el tratamiento en planta piloto con suficiente volumen de muestra para poder realizar todos los análisis necesarios.

Como principales resultados se ha obtenido que la presencia de tensoactivos (alcohol isodecílico trietoxilado) provoca una fuerte inhibición de la reacción, debido probablemente a una reacción competitiva por los radicales hidroxilo entre los plaguicidas y la molécula alifática del tensoactivo. También se inhibió la mineralización de la muestra. En este caso, la presencia de moléculas alifáticas, difíciles de atacar con un proceso foto-Fenton, podrían explicar este punto. Para confirmar que se produce una eliminación de tensoactivos con el tratamiento foto-Fenton se determinó la tensión superficial de las muestras y, a pesar de que aumentó, los valores finales aun estaban lejos de los valores que se tienen del agua destilada.

Los valores del "estado de oxidación medio" (EOM) aumentaron durante el proceso. Esta variación del EOM en las aguas tratadas se traduce en un aumento de la biodegradabilidad de la muestra, como indica la relación DBO_5/DQO, la cual aumenta a mayores tiempos de tratamiento. Se obtuvieron las mismas tendencias con las mediciones llevadas a cabo en el respirómetro electrolítico.

Se estudió también el papel de los disolventes. Para este estudio se empleó acetofenona que es un disolvente comúnmente empleado en plaguicidas comerciales y que tiene buena solubilidad en agua y baja volatilidad. Los resultados siguieron el mismo patrón que los obtenidos con tensoactivos: hubo un efecto inhibitorio debido probablemente a reacciones competitivas con el radical hidroxilo generado; sin embargo en este caso el efecto no fue tan acentuado como en el caso de los tensoactivos. Para la biocompatibilidad de las muestras, también en este caso, se observó un claro aumento en la relación DBO_5/DQO, indicando que seria posible aplicar un tratamiento biológico posterior.

Tanto el alcohol isodecílico trietoxilado como la acetofenona han demostrado tener un efecto negativo para el tratamiento fotocatalítico solar de agua contaminada con la mezcla de los cuatro plaguicidas. No obstante, se ha observado un importante aumento de la biodegradabilidad en ambos casos tras la eliminación de los principios activos, aunque se requieren mayores tiempos de irradiación.

Universidad de Barcelona. Departamento de Ingeniería Química. Investigadora: María del Mar Micó.

El objetivo que se pretende alcanzar con la experimentación en la Plataforma Solar es confirmar la efectividad del proceso foto-Fenton solar como un primer paso para el desarrollo de equipos de trabajo de tratamientos de agua a escala piloto para probar en campo. Se pretende además, optimizar para este proceso el uso de reactivos y determinar las concentraciones máximas de plaguicidas y salinidad con las que se pueda trabajar. Para ello se llevó a cabo un estudio con Fosetyl-Al e Imidacloprid como modelos de contaminantes.

En una primera tanda se ensayaron tres combinaciones de plaguicidas, peróxido de hidrógeno y Fe^{2+}, que previamente se habían definido como óptimas tras un diseño de experimentos (Tabla 4.2).

Tabla 4.2. Parámetros de los ensayos realizados con Fosetyl-Al

[Fosetyl] (mg L^{-1})	[H_2O_2] (mg L^{-1})	[Fe (II)] (mg L^{-1})	COT_0 (mg L^{-1})	COT_f (mg L^{-1})
15	30	15	3,4	1,5
25	50	20	5,5	0,7
30	100	25	11,7	5,0

Las reacciones se llevaron a cabo en el dispositivo SOLEX, cargado con 35 L de disolución, en la que se ajustó el pH en torno a 2,8. La temperatura se dejó evolucionar libremente. En los tres experimentos se realizó un seguimiento del carbóno orgánico total (COT), del Fe (II) en disolución, del hierro total, del peróxido de hidrógeno, y de los fosfatos,

Atendiendo a los valores de COT que se consignan en la tabla puede verse cómo la mayor mineralización se obtiene para los valores intermedios de fosetyl y peróxido de hidrógeno. De hecho, la terna óptima incluye una concentración de hierro tal que su ratio con respecto al peróxido ([Fe (II)]/[H_2O_2]) es también intermedia.
Analizando la evolución del hierro y los fosfatos a lo largo de la reacción se observan distintos fenómenos interesantes:

1) El Fe (II) disuelto desaparece casi por completo a los 5 minutos coincidiendo estequiométricamente con la bajada inicial del peróxido de hidrógeno (reacción Fenton propiamente dicha). Esta coincidencia no se da por el contrario en el caso del ensayo Fenton llevado a cabo paralelamente con las concentraciones intermedias.
2) Se observa una bajada del hierro total filtrado que podría deberse a la formación de precipitados de hierro III con el fosfato liberado al oxidarse el fosfonato que compone el fosteyl.
3) Por su parte, los fosfatos aumentan gradualmente su concentración hasta alcanzar valores detectados próximos a los que se observarían si todos los iones fosfonato se convirtieran en fosfatos. Esto puede suponer una forma indirecta de conocer la evolución del pesticida a lo largo de la reacción.

Se ensayó también una mezcla de varios plaguicidas para ver la influencia que podrían tener las diferentes especies en la competición por los radicales hidroxilo. Se probó una mezcla con las características descritas en la siguiente tabla (Tabla 4.3):

Tabla 4.3. Parámetros del ensayo de la mezcla de 3 plaguicidas

[Fosetyl] (mg L^{-1})	[Imidacloprid] (mg L^{-1})	[Metomilo] (mg L^{-1})	[H_2O_2] (mg L^{-1})	[Fe (II)] (mg L^{-1})	COT_0 (mg L^{-1})	COT_f (mg L^{-1})
20	20	20	200	20	94.0	91.0

A pesar de que no se dispone de los datos sobre la evolución del fosetyl-Al, sí se puede observar un comportamiento anormal en la eliminación de los contaminantes que sí se pudieron seguir por HPLC (imidacloprid y metomilo). Los resultados muestran una casi total eliminación del imidacloprid frente a una degradación de tan solo el 70% en el caso del metomilo. Además, pone de manifiesto la existencia de un periodo de "delay" en el que la reacción transcurre sin afectar a las concentraciones de estos dos pesticidas.

Por último, con la intención de acercar la experiencia al tratamiento de un efluente real, se ensayaron reacciones en las que la matriz acuosa, además de los reactivos ([Fosetyl-Al]=25 ppm, [H_2O_2]=50 ppm y [Fe^{2+}]=20 ppm), contenía KNO_3, la sal más abundante en el lixiviado rural. Las cantidades de nitrato empleadas fueron 0, 100, 250 y 500 ppm.

En cuanto a la evolución del carbono orgánico total, ésta es semejante entre las distintas experiencias, lo que hace que no se aprecien diferencias notables entre experimentos. En lo que a la evolución del peróxido de hidrógeno se refiere, se observa un consumo más rápido para las concentraciones de sal inferiores.

Puesto que la evolución del COT es idéntica en los cuatro casos, pero no así el consumo de H_2O_2, podría ocurrir que la sal provoca algún efecto por el cual el peróxido se descompone más lentamente pero de una manera más eficiente.

CSIC, Centro de Investigación y Desarrollo (CID), Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua (IDAEA). Investigadora: Cristina Rebollo.

En este estudio ha sido evaluada la degradación de cocaína y metadona en agua destilada y efluente de agua residual municipal sintética mediante irradiación natural solar y dos procesos fotocatalíticos, TiO_2 y foto-Fenton, a escala planta piloto usando colectores cilindro-parabólicos. En general, la degradación de metadona fue más rápida comparada con la degradación de cocaína bajo todos los tratamientos fotocatalíticos utilizados, no obstante la mineralización de ambos compuestos fue alcanzada a tiempos de aplicación del tratamiento similares. Degradación y mineralización fueron más rápidas para ambas sustancias en agua destilada comparada con el efluente sintético. La metadona fue completamente degradada pero no mineralizada con fotolisis, sin embargo esto sí ocurrió con la cocaína aunque a velocidad muy lenta. La cinética de degradación fue calculada para cada proceso y la toxicidad aguda de los fotoproductos generados. Los intermedios generados durante el tratamiento fotocatalítico y fotolisis están siendo investigados por cromatografía líquida acoplada a un espectrómetro de masas con cuadrupolo y tiempo de vuelo (LC-OqTOFMS).

Publicaciones: [4.86]-[4.100]

4.2.7 INNOVA-MED

Innovative processes and practices for wastewater treatment and re-use in the Mediterranean Region

http://www.idaea.csic.es/innova-med/home.htm

Participantes: CSIC (Coord., E), INRGREF (TUN), CITET (TUN), BZU (Palestina), PWA (Palestina), SCU (EGY), ANKU (TUR), IAVCHA (MAR), RAMSA (MAR), CIEMAT (E), BOKU (A), ECOLOGIC (D), EFF (D).

Contacto: Dr. Damiá Barceló, dbcqam@cid.csic.es
Dr. Sixto Malato, sixto.malato@psa.es

Financiación: EC, VI-PM. Programa de Cooperación Internacional (INCO)-Coordination Action (CA); 797.3 k€. Presupuesto CIEMAT: 41.4 K€.

Duración: Enero 2007 – Mayo 2010

Motivación: La necesidad de introducir tecnologías de tratamiento y descontaminación en el ciclo del agua ha sido ampliamente reconocida por la comisión europea dentro del quinto y sexto Programas Marco. Varios son los proyectos de investigación financiados por estos programas y orientados a mejorar las técnicas de tratamiento de aguas residuales mediante la optimización y la minimización del impacto medioambiental provocado por las mismas. En paralelo y a nivel nacional, se han llevado a cabo varias iniciativas en este sentido tanto en la Unión Europea como en los países de la cuenca Mediterránea. Sin embargo, los vacíos de comunicación entre científicos y comunidades locales (usuarios finales del agua), así como la falta de interconexión entre los diferentes países del Mediterráneo, suponen los principales obstáculos para un uso más eficiente de los conocimientos adquiridos. La acción coordinada INNOVA-MED incluye 7 proyectos fundados por la CE relacionados con el tratamiento y re-uso de las aguas residuales y la gestión del agua.

Objetivos: El proyecto INNOVA-MED tiene como objetivo principal coordinar las actividades de investigación de proyectos en marcha en la UE y en proyectos nacionales, en relación al desarrollo de nuevas tecnologías para el tratamiento de aguas residuales y para el tratamiento y vertido de fangos activos. Además, tiene también como objetivo coordinar la aplicación de prácticas innovadoras para el re-uso del agua recuperada, así como facilitar la transferencia y el uso del conocimiento y tecnología en los países socios de la cuenca Mediterránea. Esto supone facilitar la difusión/explotación eficiente de la información relativa al tratamiento y re-uso de aguas residuales y mejora la eficiencia en la transferencia de conocimientos y tecnologías hacia las regiones menos favorecidas; permitir el acceso a información procedente de bases de datos relativas al tratamiento y re-uso del agua en la región del Mediterráneo; contrarrestar la fragmentación de la investigación y, en general, mejorar la difusión del los resultados de investigación, así como una conciencia pública de la sostenibilidad del agua.

Objetivos alcanzados en 2008 y 2009: La PSA (CIEMAT) es coordinadora del grupo de expertos 2 (WP2), formado por 10 participantes. Este grupo aborda las tecnologías avanzadas para el tratamiento de aguas residuales y fangos activos, por lo tanto, tiene relación con aspectos de ingeniería relativos a las tecnologías de tratamiento de aguas, a su desarrollo y aplicación, a su escalado desde el laboratorio a plantas piloto, y a su desarrollo tanto a escala demostrativa como industrial. Dentro de las actividades que se han llevado a cabo en este WP2 y a su vez en todo el proyecto durante los años 2008 y 2009: (i) el establecimiento de un foro común para el intercambio de informa-

ción entre los socios del proyecto INNOVA-MED así como de los proyectos asociados; (ii) la preparación de un resumen crítico del estado del arte correspondiente al área de tratamiento de aguas residuales y fangos activos, generando un informe titulado: "Overview of innovative technologies for wastewater treatment, including an informative package proposing solutions to actual problems or a friendlier alternative to actual treatments in Mediterranean Partner Countries", el cual formará parte de un capítulo de un libro titulado: "Wastewater Treatment and Reuse in the Mediterranean Region" (Editoral Springer); (iii) el establecimiento de una plataforma de intercambio de información para proporcionar una perspectiva global del tema dentro de los grupos del proyecto así como de los expertos externos al INNOVA-MED; (iv) la elaboración de un paquete de recomendaciones para la aplicación de los logros científicos y tecnológicos desarrollados reforzando las perspectivas existentes para la gestión integrada de las aguas residuales en los países de la cuenca mediterránea.

Además, y cumpliendo con los objetivos contemplados en el proyecto, durante los años 2008 y 2009 se han organizado dos conferencias y un curso en distintos países de la cuenca mediterránea. En éstos se han resumido los logros alcanzados en proyectos de la UE y nacionales (no sólo de aquellos incluidos en INNOVA-MED, sino también otros proyectos de investigación o acciones de coordinación relevantes) donde investigadores europeos o de los países socios del Mediterráneo pertenecientes a varias disciplinas relevantes para el tratamiento y re-uso de las aguas residuales estuvieran involucrados. El primer congreso se llevó a cabo en Agadir (Marruecos) desde el 29 de Abril al 1 de Mayo de 2008: "Mediterranean Workshops on new Technologies of recycling non convencional water in protected cultivation", y se presentaron contribuciones relacionadas con tecnologías desarrolladas para la adecuada reutilización de las aguas residuales para irrigación, para la desalinización de aguas salobres o agua de mar, para la recolección de agua de lluvia y con el desarrollo de estructuras de invernadero que permitan minimizar el consumo de agua para los cultivos. El segundo congreso tuvo lugar en Girona (España) el 8 y 9 de octubre de 2009: "Innovative processes and practices for wastewater treatment and re-use in the Mediterranean Region". Este congreso se estructuró en cinco sesiones en las que los oradores invitados hablaron acerca del análisis de los compuestos xenobióticos en los procesos de tratamiento de aguas residuales, de nuevas tecnologías de tratamiento de aguas, de prácticas avanzadas para el re-uso de efluentes tratados, de aspectos socioeconómicos y legales, y de la gestión de las aguas residuales y de los recursos acuáticos. Por último, se organizó un curso en Ismailia (Egipto) del 15 al 17 de diciembre de 2008: "Towards an integrated approach for wastewater treatment and reuse in the Mediterranean Region", donde se discutió una serie de temas relacionados con el tratamiento y el re-uso de las aguas residuales en la región del Mediterráneo, y se presentaron diversos casos reales procedentes de estudios realizados por algunos de los países participantes en el proyecto.

Publicaciones: [4.101]-[4.104]

4.3 Grupo de Detoxificación en Aire

4.3.1 DETOX-H_2S

Desarrollo de nuevos sistemas de eliminación de compuestos tóxicos y corrosivos en aire generados en depuradoras de aguas residuales.

http://webgc.ciemat.es/portal.do?IDM=325&NM=4

Participantes: CIEMAT, ICP-CSIC, ICV-CSIC and UNED (E); UENF (BRA); USACH (RCH) and University of Wisconsin (USA).
Contacto: Dr. B. Sánchez; benigno.sanchez@ciemat.es
Financiación: Programa de la Comunidad de Madrid (IV PRICIT), Presupuesto total 700 k€
Duración: Enero de 2006 – Diciembre de 2009

Motivación / Antecedentes: Los olores desagradables generados en las estaciones depuradoras de aguas residuales suponen un serio obstáculo para la aceptación de estas instalaciones. Estas emisiones contienen entre otros compuestos fétidos H_2S, mercaptanos y aminas. Sin embargo, las posibles molestias a la población no son el principal problema asociado con estos contaminantes gaseosos. Más relevante es el hecho de que las sustancias emitidas pueden alcanzar concentraciones tóxicas para los trabajadores de las plantas y producir corrosión en los equipos y en los materiales de construcción. Actualmente existen varios tratamientos comerciales disponibles para el tratamiento de estas emisiones contaminantes pero, o bien su eficacia es reducida, o su coste es elevado. La finalidad del presente proyecto es el desarrollo de un sistema alternativo que permita mejorar el tratamiento de estas emisiones pestilentes originadas en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Objectivos:

1) El desarrollo de un reactor fotocatalítico activado bien por radiación solar o por lámparas UVA, capaz de operar en continuo para el tratamiento de las emisiones reales.
2) El diseño de un sistema de tratamiento por adsorción que permita retener los contaminantes presentes en las corrientes gaseosas en las condiciones normales de proceso.
3) Basándose en los resultados obtenidos con ambos sistemas, diseñar e instalar un nuevo sistema mixto que conjugue los procesos de adsorción y fotocatálisis, con el fin de sacar partido de las posibles sinergias entre ambos tipos de sistemas.

Logros en 2008-2009:

Se ha obtenido un adsorbente basado en sepiolita y hierro que posee una capacidad de adsorción varios órdenes de magnitud superior a la de los adsorbentes comerciales (patente española solicitada), cuya evaluación en planta en condiciones reales ha sido muy satisfactoria. El trabajo dedicado al tratamiento fotocatalítico del H_2S ha dado lugar a la obtención mediante sol-gel de fotocatalizadores de TiO_2 de mayor porosidad que mejoraron la conversión de H_2S obtenida con los recubrimientos previamente sintetizados. Por otro lado, se estudió el empleo de materiales híbridos basados en TiO_2 y sepiolita, donde se combinan propiedades fotocatalíticas y adsorbentes. Con estos materiales se obtuvo una capacidad de tratamiento y durabilidad mejoradas, así como el retardo en la aparición de SO_2. La optimización de este tipo de pro-

metedores materiales se plantea como desafío futuro. En la Figura 4.17 se muestra algunos de los resultados de actividad fotocatalítica obtenidos.

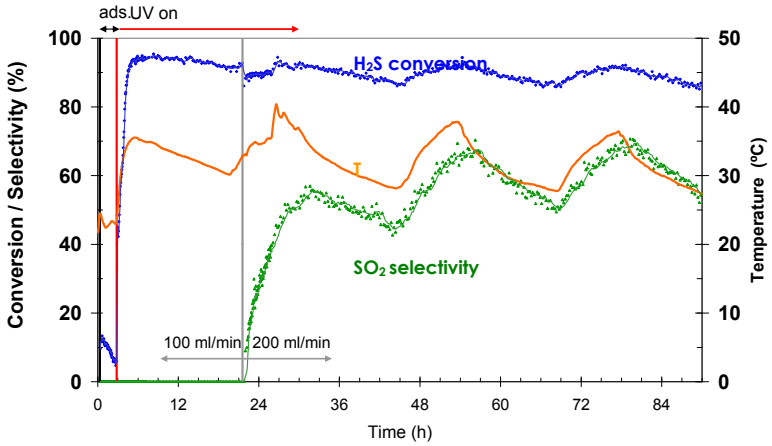


Figura 4.17 Evolución de conversion de H_2S, selectividad a SO_2 y temperatura durante un ensayo en reactor plano empleando un material híbrido basado en TiO_2P25/SiMgOx.

Una parte importante del trabajo realizado se ha dedicado al diseño, instalación y operación del fotorreactor híbrido anular que se muestra en la figura xxx. El fotorreactor está diseñado para trabajar en continuo, 24 horas al día, ya que puede operar con radiación solar y/o artificial. Consta de un colector cilindro parabólico (CPC) sin concentración y de una lámpara UVA interna que se activa cuando es preciso.

Los ensayos preliminares realizados con monolitos de PET recubiertos con TiO_2 situados en el espacio interanular resultaron en una elevada eficiencia en la degradación de H_2S. Para adecuar el reactor a múltiples tipos de fotocatalizadores soportados se diseñó una estructura con forma de polígono estrellado que permite distribuir en el reactor de forma modular fotocatalizadores de formas simples, tanto transparentes -como en el caso de placas de vidrio recubiertas por sol gel- como opacos –por ejemplo placas de materiales híbridos

Figura 4.18 Fotorreactor híbrido para el tratamiento en continuo de emisiones gaseosas

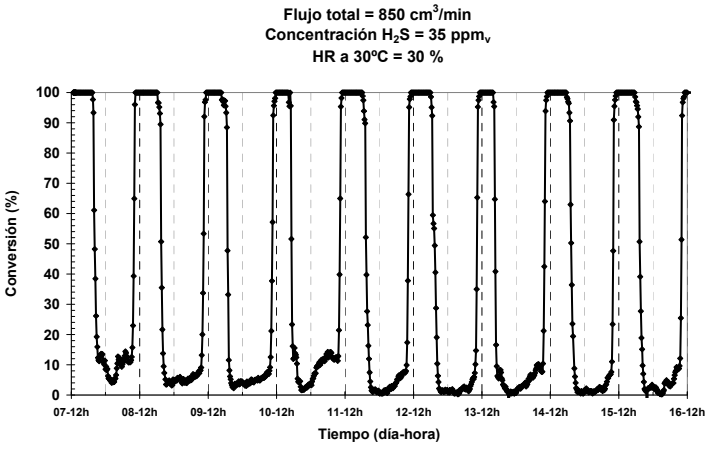


Figura 4.19 Conversión de H_2S en el fotorreactor híbrido trabajando con radiación solar y 10 módulos estrellados de TiO_2 depositado sobre vidrio por sol-gel. Agosto 2009.

adsorbente/fotocatalizador- (patente española solicitada). En la figura xxx se muestra la conversión obtenida con este sistema durante un ensayo solar de varios días en el que se emplearon placas de vidrio recubiertas con TiO_2 poroso.

La totalidad del H2S es eliminado durante las horas de sol, mientras que la eficiencia cae durante la noche. El empleo de la lámpara interna solventa este problema.

Publicaciones: [4.105]-[4.110]

4.3.2 IndoorAir

Depuración de aire interior: Estudio y Optimización de nuevos adsorbentes, catalizadores y fotocatalizadores

Participantes:	CIEMAT (E), ICP-CSIC (E), LBNL (USA), UENF (BRA), USACH (RCH), UNED (E)
Contacto:	Benigno Sánchez; benigno.sanchez@ciemat.es
Financiación:	Ministerio de Ciencia e Innovación.
Presupuesto total:	194 k€
Duración:	Enero 2009 – Diciembre 2011

Motivación / Antecedentes: La percepción social de la contaminación del aire como un problema grave que debemos resolver con el fin de evitar daños a la salud y al entorno es cada vez mayor. Desde la década de los 70, el cambio en la construcción de edificios, en los que se pasa de ventilación natural a extracción mecánica, ha dado lugar a la aparición de una serie de síntomas (dolores de cabeza, somnolencia, tos seca, picor de ojos, fatiga, etc.) que se relacionan con el "Síndrome del Edificio Enfermo". Un papel fundamental en la contaminación de los ambientes interiores lo desempeñan los Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs). El desarrollo de métodos para la toma de muestras y el análisis de los contaminantes a nivel de trazas, que sean eficaces, simples y económicos es un tema de relevancia actual. Existen diferentes tecnologías de control para el tratamiento de COVs en emisiones gaseosas, siendo las más utilizadas industrialmente las basadas en la adsorción, la oxidación catalítica. La oxidación fotocatalítica está cobrando especial interés en los últimos años, ya que resulta económica y respetuosa con el medio ambiente. En la bibliografía se pueden encontrar numerosos trabajos sobre el estudio de fotocatalizadores para la oxidación fotocatalítica de COVs de diferente naturaleza así como la eficiencia con la que se oxidan a nivel de ppm. Sin embargo cuando se trata de trazas, los estudios previos no son válidos y es necesario realizar un riguroso análisis del comportamiento de los sistemas fotocatalíticos en estas condiciones. El desarrollo de un método de análisis para el estudio de estos contaminantes así como la síntesis de fotocatalizadores eficientes para mezclas complejas de contaminantes característicos del aire interior es un tema prioritario cuando se trata de evaluar y mejorar la calidad del aire interior.

La finalidad del presente proyecto es adquirir los conocimientos necesarios que permitan definir las estrategias más adecuadas para llevar a cabo la depuración de COVs en diferentes ambientes. Como hipótesis de partida se establece la utilidad de sistemas basados en la adsorción, la catálisis o la fotocatálisis, individualmente o combinadas entre sí, que permitan la eliminación de contaminantes del aire interior en edificios de diferentes características de forma eficaz, económica y ambientalmente segura.

Objetivos:

a. Identificar sistemáticamente los COVs existentes en diferentes tipos de edificios (oficina, laboratorio, fábrica y vivienda).
b. Profundizar en los conocimientos necesarios para desarrollar nuevos adsorbentes con mejor eficiencia en la retención de COVs representativos del aire interior. Conformar estos adsorbentes y demostrar su eficiencia.
c. Profundizar en los conocimientos necesarios para desarrollar nuevos catalizadores y fotocatalizadores con mejor eficiencia en la retención y destrucción de contaminantes representativos del aire interior. Conformar estos catalizadores y fotocatalizadores y demostrar su eficacia.
d. Desarrollar materiales híbridos estructurados basados en adsorbente y fotocatalizador.
e. Sistematizar la información obtenida y proponer un método o conjunto de métodos que hagan posible la eliminación o reducción de los contaminantes seleccionados.

Logros alcanzados en 2008-2009:Durante el año 2009, primer año de proyecto, se ha realizado una intensa búsqueda de literatura relacionada con la caracterización y el tratamiento de COVs en ambientes interiores. La identificación y la cuantificación de estos compuestos se han realizado mediante un equipo ATD con un detector CG-masas, (Automated Thermal Desorber). Para ello se ha puesto a punto el equipo experimental, desarrollando los métodos analíticos necesarios para la medida de las muestras. Se ha determinado las variables que afectan al análisis relacionado con la toma de muestra, como el tiempo de recogida o la naturaleza del adsorbente. Se ha diseñado un sistema experimental para evaluar la eficiencia fotocatalítica de los fotocatalizadores soportados. En la Figura 4.20 se muestra algunos de los resultados obtenidos con un fotocatalizador basado en láminas delgadas de TiO_2. En esta figura se comparan muestras referencia de aire interior de un laboratorio y muestras que se hacen pasar por el reactor fotocatalítico. Más del sesenta por ciento de los compuestos se degradaron con una conversión superior al 60%. Los resultados evidencian la eficiencia de la fotocatálisis para la eliminación de COV a nivel de ppb.

Publicaciones: [4.105]

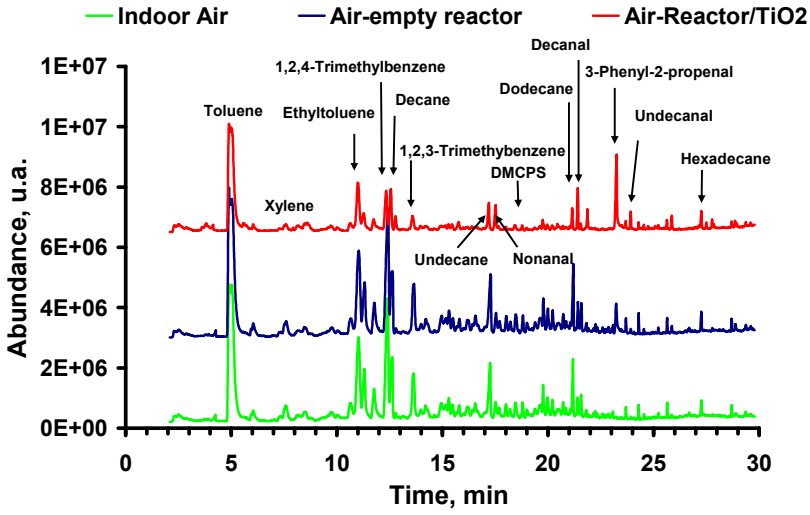


Figura 4.20 Cromatogramas de muestras de aire interior tomadas en: i)Aire del laboratorio; ii) Aire a través del reactor sin fotocatalizador; iii) Aire a través del reactor con fotocatalizador y lámparas UV.

4.3.3 NANOTITAN

Nuevos fotocatalizadores para aplicaciones solares basados en nanoestructuras unidimensionales de TiO_2 obtenidas por funcionalización de titanatos

Participantes: CIEMAT_PSA
Contacto: Benigno Sánchez; benigno.sanchez@ciemat.es
Financiación: Ministerio de Ciencia e Innovación.
Presupuesto total: 76 k€
Duración: Enero 2009 – Diciembre 2011

Motivación / Antecedentes: El reciente descubrimiento de un método de síntesis sencillo que permite la preparación de nanotubos de TiO_2 en condiciones muy suaves (Figura 4.21), ha abierto una nueva vía potencial para la preparación de fotocalizadores con alta eficiencia, que en los últimos 5 años ha adquirido una enorme relevancia.

Las razones del creciente interés de la comunidad científica en estas nanoestructuras son múltiples. Por una parte, los nanotubos de TiO_2 poseen una elevada área específica (de hasta 400 m^2/g) y una distribución estrecha de tamaño de poro, que puede facilitar la difusión de los reactivos. Además, la proximidad de relación estructural entre titanatos y TiO_2 permite realizar transformaciones reversibles entre nanotubos, nanofibras y nanopartículas por métodos muy suaves, aportando una notable versatilidad para el ensamblaje a escala nanométrica de los elementos fotoactivos. Finalmente, en el caso de los titanatos, la existencia de una estructura laminar cargada que permite el intercambio iónico aporta a la síntesis una flexibilidad de la que carece el TiO_2. Los titanatos, dada su capacidad de intercambio iónico, podrían emplearse como intermedios para ampliar la respuesta espectral del TiO_2, incorporando cationes con capacidad de absorción en el visible.

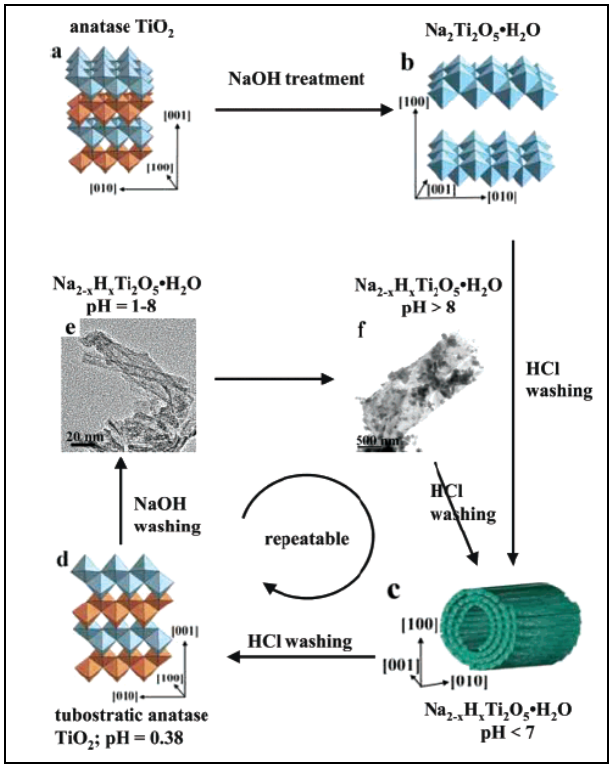


Figura 4.21 Esquema global de la formación de nanotubos a partir del tratamiento con NaOH del TiO_2 y de las transformaciones posteriores inducidas por lavados en distintas condiciones (Tsai et al., Chem. Mater. 18, 2006, 367).

Objetivos:

1) Alcanzar el máximo grado de control sobre el proceso de síntesis con el objetivo de poder optimizar el método de obtención de las nanoestructuras unidimensionales de TiO_2.

2) Desarrollar una metodología de síntesis para depositar nanotubos y nanofibras de TiO_2 como láminas delgadas sobre los sustratos más adecuados para su empleo como fotocatalizadores en operación contínua.

3) Aprovechar la capacidad de intercambio catiónico de los nanotubos de titanato para sintetizar fotocatalizadores nanoestructurados con actividad en el visible.

4) Sintetizar nanotubos de titanato que incorporen sensibilizadores orgánicos catiónicos como forma de aprovechar las posibles sinergias entre semiconductores y moléculas fotoactivas.

Logros alcanzados en 2008-2009: Durante el año 2009, primer año de proyecto, se ha revisado en profundidad la bibliografía sobre la síntesis de nanotubos basados en TiO_2. A pesar de que podemos encontrar en la bibliografía un número considerable de publicaciones relacionadas con la síntesis hidrotermal de estas nanoestructuras, generalmente se observan diferentes resultados y conclusiones contradictorias sobre el efecto de los distintos parámetros sobre el proceso de síntesis. También existen discrepancias sobre las fases obtenidas y sobre el posible mecanismo de formación de los nanotubos. Por esta razón se ha considerado primordial, en esta primera fase del proyecto, realizar un estudio de optimización del método de síntesis, estudiando la influencia de los distintos parámetros del proceso en la morfología y características físico-químicas de los materiales, analizadas por microscopía electrónica de transmisión (MET), difracción de rayos X (DRX) e isotermas de adsorción de N_2. Se ha tenido en cuenta el efecto de la fase de TiO_2 usada como precursor, la temperatura y duración del tratamiento hidrotermal y el procedimiento de lavado posterior, etapa que ha demostrado ser clave en el proceso de formación de los nanotubos (Figura 4.21). Este estudio nos permitirá seleccionar las condiciones óptimas de síntesis a emplear durante la ejecución de las siguientes fases del proyecto.

Publicaciones: [4.112]

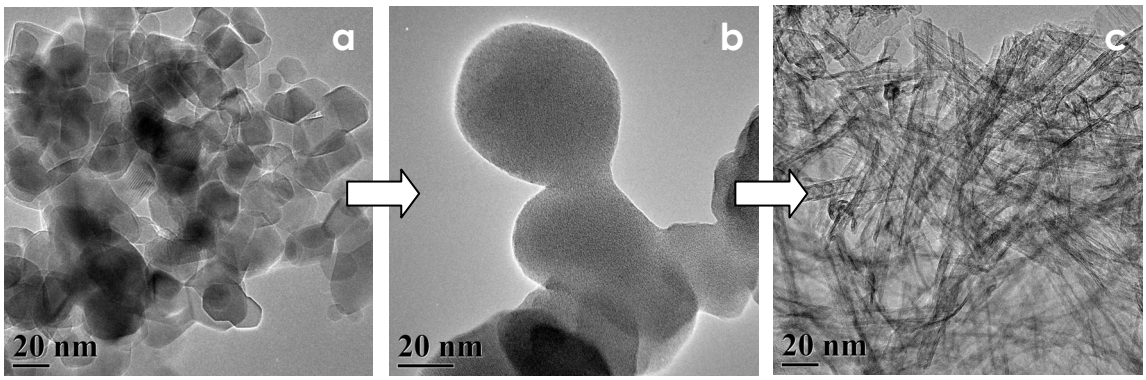


Figura 4.22 Imágenes de MET que muestran el material durante distintas etapas del proceso de síntesis: (a) TiO_2 Degussa P25, usada como precursor; (b) después del tratamiento hidrotermal en NaOH 10N y (c) tras el lavado con HCl 0.2N

4.3.4 Desarrollo de fotocatalizadores híbridos para la eliminación de COVs en corrientes gaseosas

Participantes: CIEMAT, ICP-CSIC
Contacto: Dra. Silvia Suárez; silvia.suarez@ciemat.es
Financiación: Ministerio de Ciencia e Innovación.
Presupuesto total: 76 k€
Duración: Marzo 2008 – Marzo 2013

Motivación/Antecedentes: El desarrollo de la sociedad implica un consumo elevado y creciente de recursos naturales, cuyo aprovechamiento, mediante la tecnología actual, genera enormes cantidades de gases contaminantes y subproductos que son arrojados incontroladamente al medioambiente, poniendo en peligro el propio desarrollo de la sociedad. Por tanto, este modelo de crecimiento, a todas luces insostenible, requiere la utilización de fuentes renovables junto a tecnologías cada vez más limpias, que permitan reducir la emisión de contaminantes a la atmósfera. Entre los contaminantes atmosféricos más importantes cabe destacar los Compuestos Orgánicos Volátiles COVs, no sólo por el carácter cancerígeno de algunos de ellos, sino por su implicación en la producción de ozono troposférico y por su resistencia a la degradación física, química y biológica. La industria de la pintura, de los pegamentos y los procesos de combustión, son algunas de las fuentes de emisión más importantes. La fotocatálisis oxidativa –la utilización de energía lumínica o fotónica de una determinada longitud de onda- es una alternativa atractiva, limpia, eficaz y con un bajo impacto ambiental para la eliminación de estos compuestos por oxidación. Si la radicación utilizada es de origen solar supone además, el empleo de una energía renovable. El TiO_2 es el material fotocatalítico por excelencia; entre sus principales características destaca su fotoactividad inherente, bajo precio, disponibilidad, inocuidad y estabilidad físico-química. El proceso fotocatalítico se basa en la excitación de un material semiconductor con radiación UV ($\lambda < 380$ nm) con la consecuente creación de pares hueco electrón. Sin embargo, la fotocatálisis presenta algunas limitaciones prácticas importantes. Esta tecnología se ajusta más al tratamiento de caudales pequeños de efluentes, con una baja concentración de contaminantes. La utilización de partículas de TiO_2 de pequeño tamaño en procesos industriales es tecnológicamente inviable, ya que serían necesarios procesos de filtración para retirar el catalizador que supondrían un elevado costo. La síntesis de catalizadores que combinen simultáneamente una elevada actividad y una fácil separación, es un tema prioritario.

Objetivos: El presente proyecto aborda el desarrollo de *materiales híbridos* donde se produzca un efecto sinérgico entre la adsorción y la fotocatálisis. Así, se desarrollarán conformados de fácil manipulación, compuestos de un material adsorbente poroso recubierto de una lámina delgada de TiO_2. El recubrimiento de láminas delgadas de TiO_2 sobre materiales porosos previamente conformados no es una tarea simple, por lo que un objetivo prioritario del proyecto será la optimización del método de incorporación del TiO_2. Un aspecto clave de este proyecto es la utilización de la luz solar como fuente de iluminación del sistema fotocatalítico. La utilización de fotorreactores solares que aumenten el porcentaje de la radiación solar con una $\lambda < 380$ nm -que son los que activan el TiO_2- es otra alternativa de gran interés para el proyecto. Así, se pretende analizar la influencia de la configuración del reactor en la degradación de COVs utilizando un Colector Parabólico Compuesto (CPC) que permite un uso más eficiente de la radiación difusa. Compuestos como el tricloroetileno, tolueno, o formaldehído se seleccionarán como moléculas mode-

lo para analizar el grado de eficiencia del sistema fotocatalítico y la influencia de la configuración del material hibrido en la selectividad del proceso.

Logros alcanzados en 2008-2009:

En este periodo de tiempo se ha logrado profundizar en el estudio de los sistemas híbridos basados en silicato de magnesio y óxido de titanio. Los materiales se han estructurado en forma de placa, que permite una manipulación sencilla y cómoda del material fotoactivo. Se ha estudiado diferentes configuraciones del material, incorporando el material fotoactivo en el adsorbente o bien depositando una película del semiconductor sobre el soporte poroso. Este estudio ha permitido optimizar las condiciones de síntesis como el tiempo y temperatura de calcinación, y su influencia en las propiedades texturales y cristalinas del material. Se ha evaluado las propiedades fotocatalíticas de estos materiales en la degradación de tricloroetileno (TCE) como molécula modelo y se ha analizado la formación de productos de la oxidación parcial, que pueden llegar a ser incluso más contaminantes que el compuesto de partida. Los resultados más novedosos obtenidos, se muestran de una forma esquemática en la Figura 4.23. El efecto sinérgico entre el TiO_2 y el silicato queda reflejado en la figura de la izquierda. Un contacto estrecho entre el semiconductor, donde se inicia la reacción fotocatalítica y el adsorbente, favorece la migración de los productos de la oxidación parcial como el $COCl_2$ aumentando la mineralización total del TCE. Sin embargo cuando el espesor de la capa de TiO_2 es demasiado gruesa, se inhibe la migración de estos compuestos y se observa un aumento en la formación de subproductos de reacción no deseados.

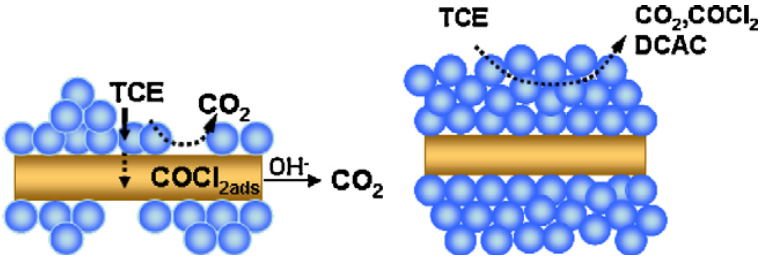


Figura 4.23 Esquema general del proceso de degradación de TCE variando la distancia entre el adsorbente y el fotocatalizador : (●) partículas de TiO_2, (▬) adsorbente, SiMgOx. TCE: tricloroetileno; DCAC: cloruro de diacetilo.

La utilización de radiación solar mediante colectores parabólicos compuestos CPC con este tipo de materiales, ha mostrado resultados muy satisfactorios. Estos sistemas han permitido obtener conversiones superiores al 95% a volúmenes de gases elevados con concentraciones importantes de contaminantes, durante las horas de máxima irradiación solar.

Publicaciones: [4.113]-[4.115]

4.4 Grupo de desalación solar

Es bien conocido que el agua es un bien absolutamente indispensable para el ser humano y, cuando no se dispone de ella por los medios habituales (rios, lagos o recursos subterráneos), el único recurso adicional que resta es la desalación de agua de mar o salobre, pero con un coste energético muy elevado.

La investigación en procesos y tecnologías de desalación solar, al igual que todas las tecnologías relacionadas con la energía solar, han experimentado un auge muy importante en estos últimos años. La razón para ello se encuentra no sólo en la habitual coincidencia geográfica de elevada disponibilidad del recurso solar y escasez de agua, sino también en el hecho de que las visiones y proyectos de futuro de grandes extensiones de captadores solares produciendo energía en regiones en vías de desarrollo para su posterior traslado a regiones desarrolladas, no podrán ser viables sin una contribución relevante al desarrollo de esas regiones en donde el agua suele ser, muchas veces por delante de la energía, uno de los bienes más preciados.

Por las razones anteriores, los proyectos de desarrollo tecnológico de los procesos de desalación solar que se están desarrollando en la Plataforma Solar de Almeria tienen por objeto no sólo el desarrollo y optimización de dicha tecnología, sino también analizar las posibilidades de integración dentro de plantas termosolares. En este sentido, durante el último año se ha abordado por la Unidad de Aplicaciones Medioambientales de la Energía Solar el ambicioso proyecto de diseñar e iniciar la construcción de un banco de ensayos denominado CSP+D (*Concentrated Solar Power & Desalination*) que, integrado en el conjunto de instalaciones relacionadas con desalación solar, permita estudiar las configuraciones y las tecnologías específicas en que dicha integración tiene sentido tanto técnica como económicamente.

Una buena idea de la intensidad de la actividad de la PSA en este campo la da el listado de los proyectos recientemente desarrollados o actualmente en marcha, en el campo de la Desalación Solar y que a continuación se resumen.

4.4.1 PROYECTO OSMOSOL

Desalación por ósmosis inversa mediante energía solar térmica

http://www.psa.es/projects/osmosol

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

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

Motivación: La desalación consume gran cantidad de energía; en el caso de los procesos de ósmosis inversa con agua de mar, este consumo se sitúa en torno a los 3.5 kWh/m^3. Teniendo en cuenta los $2 \cdot 10^6$ m^3/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

Figura 4.24 Evaluación experimental del prototipo de captador CPC 1.5x

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 2008: Durante el año 2008 se ha llevado a cabo la evaluación experimental de un prototipo de captador solar estático tipo CPC de gran superficie y bajo coste, que permita operar con un rendimiento térmico aceptable en el rango de temperatura de 80-100ºC. Dicho prototipo ha sido fabricado por la empresa portuguesa Ao Sol. Entre las principales caracterísiticas de este captador figuran un área total de 5 m^2 y una razón de concentración de 1.5x. Dicha evaluación experimental ha permitido la determinación de la curva de eficiencia para incidencia normal.

Asimismo, durante el año 2008 se ha procedido a instalar diversos captadores CPC de última generación con concentración 1.15x en el campo solar de la planta MED de la PSA. El objetivo ha sido estudiar el comportamiento a largo plazo de dichos captadores, siendo sometidos a operación a diferentes temperaturas entre 50 y 90ºC de manera continuada. Esta campaña ha permitido observar un muy buen comportamiento de los nuevos materiales y procesos de fabricación incorporados, no observándose problemas de corrosión o degradación en ninguna de las partes del captador.

Por último, se ha llevado a cabo el desarrollo en la PSA de modelos de comportamiento dinámico anual para el diseño de campo de captadores solares tipo CPC como los evaluados en el Proyecto OSMOSOL. Dichos modelos, implementados en Matlab, ha permitido la determinación de los valores de fracción solar y la comparación de los resultados obtenidos con otros métodos convencionales tales como F-CHART.

Publicaciones: [4.116]

4.4.2 PROYECTO POWERSOL

Generación de energía mecánica basada en motores solares térmicos

http://www.psa.es/projects/powersol

Participantes: CIEMAT-PSA (Coord., ES), Univ. de La Laguna (ES), IDMEC (PT), AOSOL (PT), ETH (SW), ECOSYSTEM (ES), INETI (PT), ENIT (TN), PHOCHEM (EG), LOTUS (EG), AES (TN), LENREZA (DZ), Univ. de Sevilla (Coord., ES)

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

Motivación: 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 citadas 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 dichas áreas 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 2008-2009: Durante el segundo año de proyecto se ha llevado a cabo la implementación de modelos de simulación de ciclos Rankine orgánico para tres niveles máximos de temperatura: 80-90ºC (ciclo 1); 150ºC (ciclo 2) y 250-300ºC (ciclo 3). Para cada uno de los tres ciclos se ha llevado a cabo una selección de sustancias de trabajo así como la determinación de las condiciones de contorno. Para alimentar energéticamente el ciclo 1 se ha llevado a cabo el diseño de un captador de placa plana avanzado. Para el ciclo 2 se ha escogido un captador solar estático tipo CPC y para el ciclo 3 se ha escogido el diseño de un captador Fresnel.

Durante el año 2008 se ha iniciado el proceso de diseño e ingeniería de detalle de la plataforma de ensayo de ciclos CRO en la Plataforma Solar de Almería. Aunque en principio se concibió como una instalación capaz de ensayar los tres ciclos anteriormente mencionados, al final, por razones técnicas, se ha decidido implementar un sistema para la evaluación de ciclos CRO con temperaturas máximas de ciclo entre 150 y 300ºC. En lo que se refiere al sistema CRO, se ha acordado con la empresa suiza Eneftech el desarrollo de una planta con una capacidad de producción eléctrica de 5 kW, y que cuenta entre sus principales innovaciones la selección del fluido orgánico (Solkatherm SES36) y el desarrollo de una nueva turbina específicamente diseñada para

Figura 4.25 Plataforma de ensayo de ciclos Rankine orgánicos en la PSA

su uso en este tipo de aplicaciones.

Durante el año 2009 se ha procedido a la fabricación del nuevo prototipo y a la implementación del lazo de ensayo en la PSA. Dicho lazo de ensayos se encuentra acoplado al campo de captadores solares cilindro parabólicos Acurex, lo que permite disponer de aceite térmico en un rango de temperaturas entre 140 y 300ºC. Este rango variable permitirá la caracterización del sistema CRO tanto en condiciones nominales como fuera de ellas.

Publicaciones: [4.117]-[4.119]

4.4.3 PROYECTO 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 (Coord.), Univ. de la Laguna, Acciona Infraestructuras S.A., Aguas de las Cuencas Mediterraneas, S.A. y Iberinsa S.A. (E), AOSOL (P), Univ. Stuttgarrt (D), Tinep S.A. de C.V. y Centro de Investigacion de Energia – Universidad Nacional Autónoma de México (MEX), Kungliga Tekniska Högskolan Stockholm y Scarab Development AB (S).

Contacto: J. Blanco, julian.blanco@psa.es
E. Guillén, elena.guillen@psa.es

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

Duración: octubre 2006- septiembre 2009

Motivación / Antecedentes: Desarrollo de procesos de desalacion de baja energia y robustos, destinados al suministro de pequeñas poblaciones aisladas donde la falta de suministros y de servicios centrales afectan a las posibilidades de instalación de otros procesos de desalacion. La destilación por membrana se trata de un proceso térmico de baja temperatura, que opera entre 60-100º C, de tal forma que el calor de proceso es suministrado a través de captadores solares estáticos de mínimo mantenimiento, siendo el proceso de desalación en si mismo sencillo y de fácil operación. El proceso se trata en definitiva, de una diferencia en la presión de vapor que se crea a ambos de una membrana microporosa, mediante la aplicación de dos corrientes de agua a distinta temperatura. Este gradiente provoca que el vapor de agua se evapore desde la solución mas caliente, atraviese la membrana y condense en el lado mas frío donde se recoge libre de sales y macromoleculas, como destilado de alta pureza.

Objetivos:

1) Adquirir conocimientos del proceso de desalación e investigar el proceso para aumentar la eficiencia del sistema
2) Desarrollar conceptos encaminados a la recuperacion de calor del proceso y al aumento general de la eficiencia
3) desarrollar y/o mejorar componentes indivuales del sistema completo, lo que incluye el desarrollo de un captador solar estatico optimizado para las temperaturas de operación y tratamientos de superficies avanzados para reducir la formación de precipitaciones (scaling) en las placas del intercambiador de calor

4) desarrollar un sistema completo con una capacidad de varios metros cubicos al dia
5) desarrollar un sistema autónomo con una capacidad de unos cientos de litros al dia

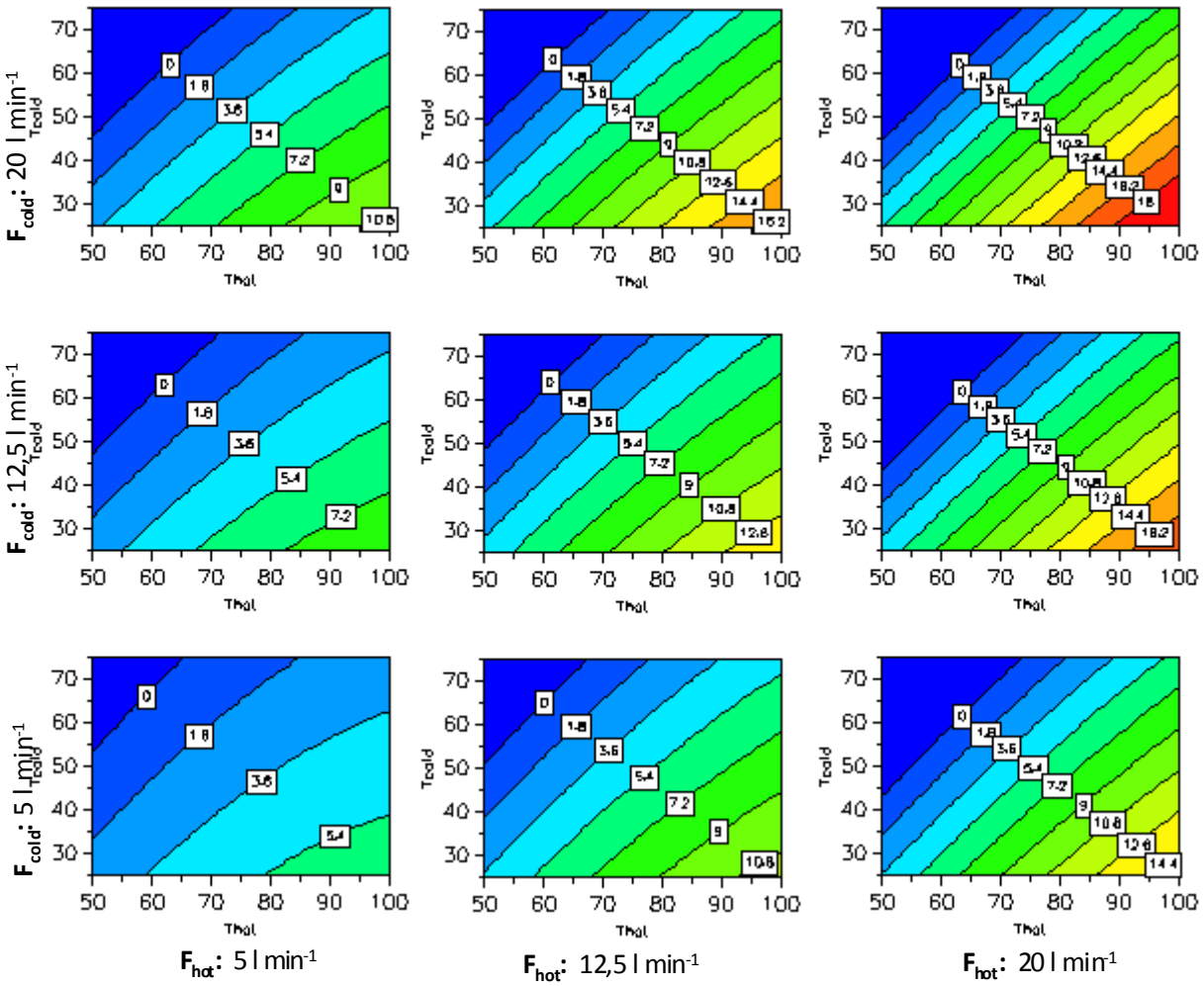


Figura 4.26 Producción de destilado (L h^{-1}) del modulo MD01 instalado en la planta MEDESOL-1 en función de las temperaturas (°C) y los caudales (L min^{-1}) de las corrientes de alimentación y refrigeración.

Logros alcanzados en 2008-2009: Durante casi todo el año 2008 los esfuerzos del proyecto se centraron en la puesta en marcha y ensayo de la planta de destilacion por membrana (MEDESOL-1) que se diseño e instaló en la plataforma el año anterior. Los experimentos llevados a cabo durante el primer semestre del año 2008, fueron encaminados a la caracterización de la planta en su conjunto y de cada uno de sus componentes en operación real. Los resultados de la planta se presentaron en varios congresos internacionales. Durante el año 2009, se colaboró en el diseño de la planta de demostración dentro del mismo proyecto que se planea instalar en las instalaciones de la desaladora de carboneras. Paralelamente, se llegó a un acuerdo de colaboración con la empresa Keppel-Seghers, una de las empresas encargadas de comercializar el prototipo del consorcio Memstill, para ensayar uno de sus módulos en las instalaciones de la plataforma. De tal modo que en función de los resultados del acople con energía solar, la colaboración podria continuar en un futuro. Las modificaciones que requirió la planta y el montaje de la nueva insta-

lacion se llevaron a cabo durante el segundo semestre del año 2008 y concluyeron en Diciembre de ese mismo año, para poder comenzar los experimentos al año siguiente. La campaña experimental se llevo a cabo durante los meses de Febrero a Junio de 2009. Se generó un informe favorable del acople de esta tecnologia con la energía solar que fue presentado a la empresa. Se consideró que la colaboración había resultado fructuosa para ambas partes y se planteó una nueva colaboración, esta vez con un concepto multietapa para comienzos de 2010.

Publicaciones: [4.120]-[4.125]

4.4.4 PROYECTO MEDIODIA

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

http://www.cenitmediodia.com

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

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

Financiación: 24 M€; es un proyecto CENIT del programa INGENIO del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo.

Duración: 1 Enero de 2007 – 31 Diciembre de 2010

Motivación/Antecedentes: La agricultura intensiva es uno de los sectores agrarios más significativos en España. Por ello se precisa llevar a cabo las actividades de I+D 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. Los resultados que puedan obtenerse en este campo trascenderán el 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 automatizado, 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.

En el caso concreto de la PSA, este objetivo genérico del proyecto se traduce en los siguientes objetivos específicos:

- El montaje y evaluación de un capatador cilindro-parabólico de media temperatura que permita diferentes aplicaciones de calor de proceso
- El montaje y evaluación de un ciclo Rankine Orgánico (CRO) susceptible de ser utilizado en combinación con el captador anterior y dentro de esquelas de procesos de poligeneración (electricidad, frio, agua, calor)
- En relación con los procesos de desinfección, la obtención de un efluente que cumpla con los parámetros de la normativa de reutilización de aguas depuradas (RD 1620/2007) en lo que a organismos patógenos se refiere, después de la aplicación de tecnologías solares.

Logros alcanzados en 2008-2009:

a) Capador cilindro-parabólico de media temperatura. Se ha identificado un tipo de colector cilindro-parabólico de pequeño tamaño y bajo coste que se ajusta a las aplicaciones térmicas de media temperatura: el prototipo Polytrough 1200 de la empresa australiana NEP-Solar, con una eficiencia térmica nominal de más del 55% en el rango 120-220ºC para 1000 W/m^2 de radiación normal directa y una produccion nominal de 15,8 kW por módulo con temperatura media del colector de 200ºC. A continuación, se ha definido, diseñado y adquirido un campo de 8 colectores cilindro-parabólicos para suministrar unos 125 kW térmicos a unos 200ºC de cara a su aplicación en procesos de poligeneración y desalación multi-efecto en la PSA.

Figura 4.27 Prototipo Polytrough 1200 que se va a instalar en la PSA

b) Ciclos CRO: Durante el año 2008 se ha llevado a cabo un estudio de los diferentes ciclos aplicables a la cogeneración solar (CRO, Kalina, etc.) para niveles de temperatura inferiores a 300ºC. Se ha llevado a cabo una extensa revisión bibliográfica, distinguiendo entre trabajos teóricos e implementaciones a nivel de planta piloto. En particular, dentro de las aplicaciones de cogeneración a pequeña escala (< 1 MW_e) con ciclos CRO, se ha procedido a identificar los productos comerciales disponibles en el mercado con objeto de llevar a cabo una implementación real de un ciclo CRO solar. Finalmente, se ha desarrollado un modelo matemático, implementado en EES (Engineering Equation Solver), para la simulación de ciclos CRO solares, tanto a baja temperatura (captadores solares estáticos) como a media temperatura (captadores solares cilindro parabólicos).

c) Procesos de desinfección solar térmica. Basados en estudios bibliográficos y experimentales sobre inactivación solar térmica (<80ºC) se han llevado a cabo en las instalaciones de la Plataforma Solar de Almería un trabajo sobre desinfección solar de aguas cuyo objetivo fundamental es obtener un efluente que cumpla los parámetros de calidad de la normativa de reutilización de aguas depuradas (R.D. 1620/2007) en lo que a organismos patógenos se refiere.

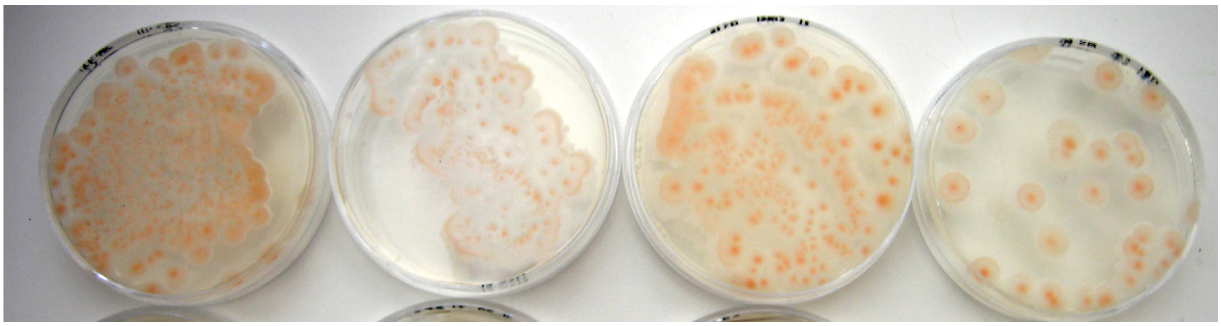


Figura 4.28 Descenso de colonias de Fusarium solani en agua sobre placas Petri de agar malta tras recibir distintos tiempos de tratamiento solar con dióxido de titanio: 0, 1, 3 y 5 horas (de izquierda a derecha)

Dado el potencial de las PAOs en el tratamiento de agua (desinfección) para reuso e irrigación en agricultura, se han analizado las posibilidades de realizar desarrollos a gran escala para que su aplicación sea de interés. Basándonos en nuestros trabajos previos sobre la elevada susceptibilidad de las especies de Fusarium a la desinfección con suspensiones de TiO_2 en frascos de 250 ml y a escala de reactor solar CPC de 14 L con agua destilada y radiación solar natural, se ha estudiado el proceso a escala de reactor de decenas de litros para tratar no sólo agua destilada contaminada sino también aguas subterráneas naturales y de salida de EDAR contaminadas. Se han analizado los principales parámetros operacionales del proceso como son el caudal, oxígeno disuelto y la temperatura, parámetros de diseño del sistema como el área de captación solar del foto-reactor, el volumen total a tratar, el tiempo de residencia bajo iluminación, o la relación de volumen iluminado a volumen total. Hasta ahora, muy pocos estudios han contribuido en la desinfección de agua con fotocatálisis usando reactores solares CPC a escala planta piloto, pero ninguno en la desinfección de agua con fitopatógenos para aplicaciones de reuso de agua en irrigación. El prototipo de foto-reactor solar CPC de 60 L usado en este estudio fue diseñado y construido basado en nuestra experiencia, analizando y ajustando parámetros. La eficiencia de desinfección del tratamiento fotocatalítico solar de diversos patógenos se ha demostrado en agua destilada y en agua de pozo.

4.4.5 PROYECTO PRODES
Desalación de agua de mar mediante sistemas solares de destilación por membranas

http://www.psa.es/webeng/projects/medesol/index.html
http://www.prodes-project.org

Participantes: WIP, Fraunhofer Gesellschaft ISE y Tinox (D); Centre for Renewable Energy Sources (CRES), Capital Connect y Hellas Energy (GR); Univ. Palermo y European Desalination Society (EDS) (I); INETI y Ao Sol (P); AquaMarine Power (UK); CIEMAT-PSA, Befesa y Instituto Tecnológico de Canarias (ITC) (E).

Contacto: Michael Papapetrou, WIP, michael@papape.com

Financiación: 1,023 k€, en el Programa Energía Inteligente en Europa de la Comisión Europea:
Duración: 1 Octubre de 2008 – 30 Septiembre de 2010

Motivación / Antecedentes: En el sur de Europa la desalación es una actividad cada vez más importante en la demanda energética. Usar energía renovable para la desalación, ya sea en sistemas aislados o conectados a red, permitirá un mejor control de carga y consecuentemente mayor uso de las energías renovables en esas regiones. El projecto promueve el uso de energías renovables en áreas remotas donde la red no puede adaptarse a un alto consumo de fuentes intermitentes.

Objetivos:

1) Reunir a los actores de la desalación con energías renovables y coordinar sus actividades
2) Establecer las bases para la formación de especialistas
3) Ayudar a los suministradores de tecnología a alcanzar sus nichos de mercado
4) Facilitar el flujo de capital para el desarrollo de productos y proyectos
5) Impulsar mejoras en las condiciones del marco regulatorio vigente
6) Aumentar el conocimiento de las tecnologías

Logros alcanzados en 2008-2009: De cara al desarrollo de una hoja de ruta, se han elaborado bases de datos de investigadores, empresas y profesionales del sector que se incluirán en la consulta, con objeto de que sus criterios, experiencias y necesidades formen parte de la estrategia a definir. Un borrador de dicha hoja de ruta se presentó en público en Mayo de 2009, en una sesión estratégica específica dentro del Congreso Europeo de Desalación de Baden Baden, en la que participación más de 100 especialistas de todo el mundo que debatieron el documento. El proceso de consulta ya se ha iniciado.

En cuanto al aspecto didáctico del proyecto, se han definido los contenidos básicos de un curso en desalación con energías renovables, una tarea que fue liderada por la PSA. El curso tiene una parte teórica y otra práctica. La primera consta de 7 bloques: introducción; procesos y tecnologías convencionales de desalación; revisión de energías renovables aplicables a la desalación; tecnologías de desalación asociada a energías renovables (solar térmica, solar fotovoltaica, eólica y otras); diseño y operación de plantas; aspectos medioambientales y cuestiones económicas de la desalación con energías renovables. La segunda incluye cálculos del recurso solar y eólico, balance de masa y energía en desalación térmica, diseño de los campos solares para acoplar a diferentes sistemas de desalación térmica, diseño de una planta convencional de ósmosis inversa, así como del campo solar fotovoltáico y eólico para alimentarla, y repaso a las instalaciones existentes. Así mismo, se ha elaborado el material didáctico del curso, tanto teórico como práctico, con objeto de homogeneizar las diferentes ediciones del curso.

El curso se ha impartido en Italia (en una ocasión para estudiantes de tercer ciclo en la Universidad de Palermo), en Grecia (en su versión reducida para profesionales del sector, en un seminario organizado por el CRES) y en España en dos ocasiones. En la primera de ellas, la PSA ofreció el curso a los alumnos de la tercera edición del Master de Energía Solar organizado por el CIESOL, de manera que una extensión al módulo VII impartido de aplicación de energía solar al tratamiento de aguas les permitía cubrir el temario oficial. Por otra parte, la PSA organizó un curso internacional de desalación en Almería (19-21 Octubre de 2009) con la asistencia de investigadores y profesionales de 9 países. Cabe destacar que la demanda de asistentes al curso superó

Figura 4.29 Alumnos del curso internacional de desalación con energías renovables durante la práctica realizada en la planta de destilación multi-efecto de la PSA (20 Octubre 2009)

con creces el límite máximo de participantes, fijado en 25. El curso incluyó clases teóricas y prácticas en la Plataforma Solar de Almería.

Publicaciones: [4.126]

4.4.6 PROYECTO CONSOLIDA

Consorcio solar de I+D

http://www.cenit-consolida.es/

Participantes: 20 empresas españolas lideradas por Abengoa Solar con 18 OPIs subcontratadas.

Contacto: Alfonso Rodríguez, Abengoa Solar, alfonso.rodriguez@solar.abengoa.es

Financiación: 24 M€; es un proyecto CENIT del programa INGENIO del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo.

Duración: 1 Enero de 2008 – 31 Diciembre de 2010

Motivación / Antecedentes: Pese a la importancia del I+D en la reducción de costes de las tecnologías solares térmicas, el número de científicos e ingenieros implicados en el desarrollo tecnológico es relativamente bajo. La Agencia Internacional de la Energía recomienda equipos de I+D multidisciplinares, incluyendo óptica, ciencia de materiales, procesos de transferencia y almacenamiento de calor, técnicas de instrumentación y monitorización e ingeniería de procesos energéticos.

Objetivos: El objetivo principal del proyecto es establecer una infraestructura de I+D que consolide el liderazgo de España en tecnologías de concentración solar. La energía termosolar puede contribuir al cumplimiento de las políticas estratégicas de la UE contra el cambio climático, p.ej., el compromiso de la reducción de emisiones de CO2 en un 20% para el año 2020.

Logros alcanzados en 2008-2009: CIEMAT-PSA ha cumplido con su compromiso de realizar informes sobre el estado del arte de las tecnologías destilación térmica multi-efecto y de destilación por membranas. También se han realizado sendos estudios de los principios físicos de ambos sistemas de desa-

lación, concretados en el desarrollo de la formulación matemática teórica de cada uno de ellos previos a su modelado.

Así mismo, se ha colaborado en la identificación de los diferentes sistemas solares térmicos de cara a la elección de las tecnologías solares aplicables a cada proceso de desalación, realizando informes con la definición de la formulación matemática teórica de cada una de ellas de cara a su modelado.

Publicaciones: [4.127]

4.4.7 PROYECTO HISPAMED
Sistema de destilación multiefecto con energía solar térmica
http://www.psa.es/projects/hispamed

Participantes: CIEMAT-PSA, ASSYCE INGENIEROS S.L.
Contacto: Dr. Julián Blanco, julian.blanco@psa.es
Financiación: Convenio de colaboración
Duración: Marzo 2009 – Febrero 2011

Motivación: El desarrollo de tecnologías de desalación basadas en energías renovables supone, no sólo una iniciativa fuertemente prometedora, sino también con importantes oportunidades de negocio actuales en determinadas zonas del planeta. Dado el fuerte potencial que posee la energía solar, no solo en España sin en toda el área mediterránea y el Golfo Pérsico, la utilización de la tecnología de destilación multiefecto (MED) es una de las que mejor se adaptan al uso de energía solar térmica de baja temperatura.

Objetivos: El objeto de este proyecto es la colaboración entre CIEMAT y ASSYCE INGENIEROS para el desarrollo de una tecnología MED autóctona que permita integrar todos los elementos tecnológicos necesarios en una planta completa para la desalación solar de agua de mar.

Objetivos alcanzados en 2008-2009: Entre las primeras tareas del proyecto se encuentra el diseño y construcción de un destilador simple, compuesto por dos efectos, uno de ellos dotado de precalentador y el otro acoplado al condesador final de planta. Durante 2009 se han revisado los modelos matemáticos de destilador simple existentes en la literatura científica y se ha llevado a cabo su comparación con los resultados experimentales obtenidos en la planta MED de la PSA. Asimismo se ha llevado a cabo una revisión de la tecnología de materiales, con objeto de elegir los más adecuados en la implementación de los primeros prototipos de planta MED.

4.4.8 TALLER APLICACIONES MEDIOAMBIENTALES
Aplicación de tecnologias solares a problemas ambientales

Participantes: CIEMAT-PSA y 3iA - UNSAM (Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de San Martín, Argentina)
Contacto: Julián Blanco (julian.blanco@psa.es)
Miguel Blesa (miblesa@cnea.gov.ar)
Financiación: 20.400 €. Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID)
Duración: Enero 2009 – Diciembre 2009

Motivación/Antecedentes: El proyecto se planteó fundamentalmente para la organización y dictado del curso "Aplicaciones de Tecnologías Solares a Problemas Ambientales, con Énfasis en Tratamiento de Aguas", en la Universidad Nacional de San Martín (Argentina), orientado a a estudiantes de posgrado, profesionales, docentes universitarios y estudiantes del último año de carreras de grado asociadas a la temática en áreas de la física, la química, medioambiente e ingenierías relacionadas.

Ambas instituciones (PSA y el 3iA-UNSAM) poseen una importante experiencia en la temática ambiental y en la cooperación iberoamericana y la principal motivación del proyecto es favorecer actividades conjuntas tendientes a la formación de recursos humanos especializados y a la diseminación de resultados que promuevan la transferencia y explotación de tecnologías solares aplicados a problemas de desalinización, descontaminación y desinfección de aguas, en zonas rurales y áreas de pobreza mediante el uso de la energía solar. El 3iA- UNSAM es un Instituto consagrado a la Investigación, la Docencia y la Transferencia de conocimientos en temas ambientales.

Objetivos: El objetivo general de este proyecto es la formación de Recursos Humanos especializados en aplicaciones de la energía solar a problemas ambientales a través de la realización del taller sobre la temática citada, el intercambio de investigadores-docentes y la diseminación de resultados, promoviendo la transferencia y explotación de tecnologías solares, particularmente en zonas rurales y áreas de pobreza. El mismo estaría consagrado. Los objetivos específicos del proyecto son que los alumnos que participen en el taller, al finalizar el mismo, obtengan:

1) Un claro panorama de las posibilidades y del estado del arte en las aplicaciones de las tecnologías solares a problemas ambientales, en particular al tema del agua.
2) Una mejor comprensión de los procesos físicos y químicos involucrados en la mejora ambiental introducida por el uso de la energía solar.
3) Un panorama del impacto socieconómico que produce el uso de las técnicas solares en la resolución de problemas ambientales.
4) Motivación para la realización de actividades tecnológicas emprendedoras en la temática del curso.
5) Material didáctico e informativo producto de la edición de las notas preparadas por los profesores para el curso.

Logros alcanzados en 2008-2009: El desarrollo del curso tuvo lugar entre el 28 de septiembre y el 2 de octubre de 2009 en el Campus Miguelete de la Universidad Nacional de San Martín. El curso describió el estado del arte del aprovechamiento de la energía solar por procesos térmicos. Recorrió las formas de generación de electricidad, el uso directo de la energía solar para procesar agua (desalarla, descontaminarla y desinfectarla), en el contexto de la realidad argentina (estado de sus recursos acuáticos y gestión del agua). La responsabilidad docente central estuvo a cargo de los investigadores del grupo de Química Solar de la Plataforma Solar Almería (E): Sixto Malato, Pilar Fernández, Diego Alarcón, Manuel Ignacio Maldonado e Isabel Oller. El curso se enriqueció también con presentaciones de investigadores argentinos: Alicia Fernández Cirelli describió la gestión del agua en Latinoamérica; Víctor Pochat el estado de los recursos hídricos en Argentina; Luis Saravi, las actividades del Instituto Nacional de Energías No Convencionales (INENCO, de CONICET y la Universidad Nacional de Salta); Hugo Grossi Gallegos, las características del recurso solar en la Argentina y Orlando Alfano, los estudios de descontamina-

ción y desinfección solar que lleva a cabo en el INTEC (CONICET-Universidad Nacional del Litoral). El curso fue realizado por unos cuarenta alumnos, en general estudiantes de posgrado de diversas instituciones del país.

Posteriormente se realizó el proceso de selección de los dos estudiantes más destacados del curso a los que se les otorgó una beca para realizar una visita científico-técnica de 2 semanas a la Plataforma Solar de Almería. Los seleccionados finalmente fueron Martín Altamirano y Pablo Enrique Martínez, alumnos que obtuvieron la mejor nota en el examen realizado del curso. Durante su estancia en la PSA dichos alumnos tuvieron ocasión de conocer los principales proyectos y actividades que se desarrollan dentro del área de Aplicaciones Medioambientales de la Energía Solar.

4.4.9 BANCO DE ENSAYOS CSP+D (PROYECTO SOLARNOVA)

Integración de sistemas de desalación térmica MED en plantas termosolares

Contacto: Julián Blanco (julian.blanco@psa.es)

Financiación: Plan E

Descripción: Se pretende desarrollar un banco de ensayo para el estudio del posible acoplamiento entre una planta CSP y otra de Desalinización de agua de mar (CSP+D) que aproveche el calor residual de salida de la turbina de vapor. Para ello dicho banco de ensayo se desea que permita estudiar y analizar distintas configuraciones posibles de integración de una planta de desalación MED y una Bomba de Calor de Doble Efecto, de forma individual o conjunta, en una planta termosolar de producción de electricidad. Este banco de ensayo se instalará asociado a la planta MED y Bomba de Calor existentes en la Plataforma Solar de Almería y su objeto fundamental será el de poder simular distintos tipos de turbinas comerciales y distintas configuraciones de interconexión de los sistemas anteriores.

El sistema estará alimentado con energía térmica procedente del campo de captadores cilindro-parabólicos Acurex 3001 (aceite térmico Therminol 55, que permite obtener una temperatura máxima de 280 – 290ºC), utilizando un sistema eléctrico auxiliar para proporcionar el incremento de temperatura ne-

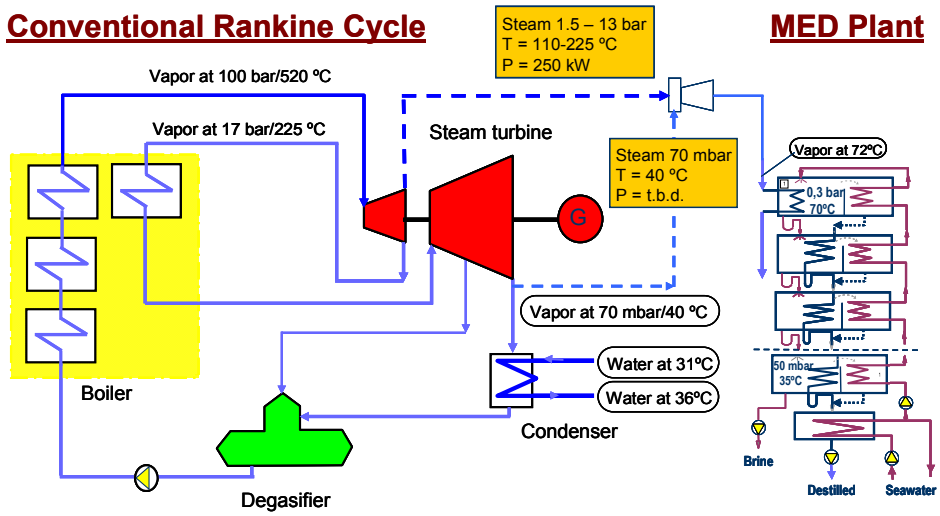


Figura 4.30 Esquema conceptual del banco de ensayos CSP+D, para la configuración de planta MED sin bomba de calor

cesario para alcanzar temperaturas superiores cuando se requieran. La instalación se prevee también que pueda servir como banco de ensayo de turbinas de vapor de pequeña potencia (hasta 500 kW térmicos).

Objetivos: El objetivo principal es estudiar la posibilidad de utilización de una parte del vapor exhausto de salida de la turbina de un ciclo Rankine, mediante su regeneración con vapor procedente de una extracción intermedia, para alimentar una planta de desalación MED. La principal idea subyacente, por lo tanto, es intentar utilizar la primera celda de la planta MED como condensador del ciclo de potencia, reduciendo las necesidades de refrigeración del ciclo Rankine y utilizando esa energía térmica para producir agua desalada (Figura 4.30).

El sistema final permitirá la simulación, en una escala de hasta 500 kW, de cualquier posible turbina que pueda ser utilizada para la producción simultánea de electricidad y agua a partir de la energía solar concentrada. Además, el banco de ensayos contará con distintas configuraciones de operación para poder incorporar al conjunto una Bomba de Absorción de Doble Efecto, también existente en la PSA, que trabaja en un rango acorde a la MED y permite una importante reducción del consumo energético global con respecto a sistemas MED convencionales, aunque a costa de requerir una mayor temperatura en el aporte energético. El sistema en su conjunto estará alojado dentro de un edificio de 2 alturas.

Logros alcanzados en 2008-2009: Durante 2009 se han llevado a cabo los desarrollos de ingeniería necesarios para la definición total de la instalación y la adjudicación de los concursos para su construcción.

4.5 Referencias

[4.1] J. Blanco, S. Malato, P. Fernandez-Ibañez, D. Alarcon, W. Gernjak, M.I. Maldonado. 2009. Review of feasible solar energy applications to water processes. Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2009) 1437–1445.

[4.2] Depuración de aguas contaminadas con tóxicos persistentes mediante combinación de fotocatálisis solar y oxidación biológica. Isabel Oller Alberola. Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Almería. 22 Febrero 2008. Director: S. Malato; co-director: J.A. Sánchez.

[4.3] Degradación fotoquímica de contaminantes emergentes mediante procesos solares. Evaluación analítica. Leónidas Armando Pérez Estrada. Departamento de Hidrogeología y Química Analítica. Universidad de Almería. 9 de Mayo 2008. Director: A. Agüera; co-director: S. Malato.

[4.4] C. Sichel. "Solar photocatalytic disinfection of plant pathogen Fusarium species". Directores: P. Fernández Ibáñez (CIEMAT) y J.C. Tello Marquina (Univ. de Almería). Fecha: 04 de julio de 2008.

[4.5] María de la Menta Ballesteros Martín. Eliminación de plaguicidas no biodegradables en aguas mediante acoplamiento de fotocatálisis solar y oxidación biológica. Directores: Sixto Malato (CIEMAT) y J.A. Sánchez Pérez (Univ. de Almería). Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Almería. 22 Julio 2008.

[4.6] Christos Comninellis, Agnieszka Kapalka, Sixto Malato, Simon A Parsons, Ioannis Poulios and Dionissios Mantzavinos. Advanced oxidation processes for water treatment: advances and trends for R&D. J Chem Technol Biotechnol. 83, 769–776, 2008.

[4.7] S. Malato, P. Fernández-Ibáñez, M.I. Maldonado, J. Blanco, W. Gernjak. Decontamination and disinfection of water by solar photocatalysis: Recent overview and trends. Catalysis Today 147, 1–59, 2009.

[4.8] Vincenzo Augugliaro, Leonardo Palmisano, Sixto Malato. Introduction by the guest editors. Photochem. Photobiol. Sci., 8, 581, 2009.

[4.9] Vincenzo Augugliaro, Leonardo Palmisano, Sixto Malato, Wolfgang Gernjak. Preface. Catalysis Today 144, 1. 2009.

[4.10] J. M. Peralta-Hernández; Y. Meas-Vong; F. J. Rodríguez; T. W. Chapman; M. I. Maldonado; Luis A. Godínez; "Comparison of hydrogen peroxide-based processes for treating dye-containing wastewater: Decolorization and destruction of Orange II azo dye in dilute solution". Dyes and Pigments 76 (2008) 656-662.

[4.11] Sixto Malato, Removal of Emerging Contaminants in Wastewater Treatment: Removal by Photocatalytic Processes. En The Handbook of Environmental Chemistry, Volume 5: Water Pollution 5 S2. D. Barceló, M. Petrovic (Eds.). Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Germany. ISBN 978-3-540-79209-9. pp. 177-197

[4.12] Malato S., Maldonado M.I., Fernández-Ibáñez P. and Oller I. Solar photocatalysis: large scale, solar-driven applications. 2nd European Conference on Environmental Applications of advanced oxidation processes (EAAOP-2). Nicosia, Chipre, 9-11 Sept. 2009. Pleanary lecture.

[4.13] Sixto Malato. Ponencia. Curso Métodos Avanzados para el Tratamiento de Aguas. Univ. Medellín, Colombia. 24-26 Oct. 2008.

[4.14] S. Malato. Coupling of advanced oxidation processes and biotreatment for treating persistent water contaminants. 4th Int. meeting on biotechnology (BIOTEC 2008). 17-19 Sept. 2008, Granda, Spain. Invited Lecture S-4. Book of Abstracts, p 64.

[4.15] M. I. Maldonado; S. Malato; W. Gernjak; P. Fernández; A. Zapata; C. Sirtori. "Tratamiento de aguas residuales mediante tecnologías de oxidación solar avanzada: estado del tema y proyectos en marcha nacionales y de la Unión Europea". Retema 124 (2008) 38-44.

[4.16] P. Fernández, C. Sichel, J. Blanco, M. De Cara, J. Tello. "Energía solar contra las plagas" Nova Ciencia 36, Mayo 2008, 22-25.

[4.17] M. M. Ballesteros Martín, J. A. Sánchez Pérez, F. G. Acién Fernández, J. L. Casas López, A.M. García-Ripoll, A. Arques, I. Oller, S. Malato Rodríguez. Combined photo-Fenton and biological oxidation for pesticide deg-radation. Effect of photo-treated intermediates on biodegradation kinetics. Chemosphere, 70, 1476-1483, 2008.

[4.18] L.A. Pérez-Estrada, A. Agüera, M.D. Hernando, S. Malato, A.R. Fernández-Alba Photodegradation of malachite green under natural sunlight irradiation: Kinetic and toxicity of the transformation products. Chemos-phere, 70, 2068-2075, 2008.

[4.19] M.M. Ballesteros Martín, J.A. Sánchez Pérez, F.G. Acién Fernández, J.L. García Sánchez, J.L. Casas López, S. Malato Rodríguez. A kinetics study on the biodegradation of synthetic wastewater simulating effluent from an advanced oxidation process sing Pseudomonas putida CECT 324. J. Hazard. Mat. 151, 780–788, 2008.

[4.20] A. García-Ripoll, A.M. Amat, A. Arques, R. Vicente, M.M. Ballesteros Martín, J.A. Sánchez Pérez, I. Oller, S. Malato. Confirming Pseudomonas putida as a reliable bioassay for demonstrating biocompatibility enhancement by solar photo-oxidative processes of a biorecalcitrant effluent. J. Hazard. Mat., 162, 1223–1227, 2009.

[4.21] Nikolaus Klamerth, Wolfgang Gernjak, Sixto Malato, Ana Agüera, Bernhard Lendl. Photo-Fenton Decomposition of Chlorfenvinphos. Determination of Reaction Pathway. Wat. Res., 43, 441-449, 2009.

[4.22] Ballesteros Martín M.M., Sánchez Pérez J.A., García Sánchez J.L., Montes de Oca L., Casas López J.L., Oller I., Malato Rodríguez S.. Degradation of alachlor and pyrimethanil by combined photo-Fenton and biological oxidation. J. Hazard. Mat. 155, 342–349, 2008.

[4.23] A.M. Amat, A. Arques, A. García-Ripoll, L. Santos-Juanes, R. Vicente, I. Oller, M.I. Maldonado, S. Malato. A reliable monitoring of the biocompatibility of an effluent along an oxidative pre-treatment by sequential bioassays and chemical analyses. Wat Res. 43, 784-792, 2009.

[4.24] M.M. Ballesteros Martín, J.A. Sánchez Pérez, J.L. Casas López, I. Oller, S. Malato Rodríguez. Degradation of a four-pesticide mixture by combined photo-Fenton and biological oxidation. Wat Res. 43, 784-792, 2009.

[4.25] M.M. Ballesteros Martí, J.A. Sánchez Pérez, J.L. García Sánchez, J.L. Casas López, S. Malato Rodriguez. Effect of pesticide concentration on the degradation process by combined solar photo-Fenton and biological treatment. Wat Res. 43, 3838-3848, 2009.

[4.26] A. Zapata, T. Velegraki, J.A. Sánchez-Peérez, D. Mantzavinos, M.I. Maldonado, S. Malato. Solar photo-Fenton treatment of pesticides in water: Effect of iron concentration on degradation and assessment of ecotoxicity and biodegradability. Appl. Catal. B: Environ., 88, 448–454. 2009.

[4.27] N. Klamerth, N. Miranda, S. Malato, A. Agüera, A.R. Fernández-Alba, M.I. Maldonado, J.M. Coronado. Degradation of emerging contaminants at low concentrations in MWTPs effluents with mild solar photo-Fenton and TiO2. Catalysis Today 144, 124–130. 2009.

[4.28] A. Zapata, I. Oller, E. Bizani, J.A. Sanchez-Perez, M.I. Maldonado, S. Malato. Evaluation of operational parameters involved in solar photo-Fenton degradation of a commercial pesticide mixture. Catalysis Today 144, 94-99. 2009.

[4.29] M. M. Ballesteros, J.A. Sánchez Pérez, S. Malato Rodríguez, J.L. Casas López, Nuria Sainz Herrán. Coupled solar photo-Fenton and biological treatment for the degradation of a mixture of five commercial pesticides. 4th Int. mmeting on biotechnology (BIOTEC 2008). 17-19 Sept. 2008, Granada, Spain. Poster P-AM1. Book of Abstracts, p 155.

[4.30] M.M. Ballesteros Martín, J.A. Sánchez Pérez, S. Malato Rodríguez , J.L.Casas López, Nuria Sainz Herrán. Pesticide degradation: using pseudomonas putida to determine minimum photoFenton treatment time coupling with a posterior biotreatment. 2nd International Conference on Renewable Energies and Water Technologies (CIERTA 2008). 2-3 Oct. 2008. Roquetas de Mar, Almeria, Spain. Poster Communication ID 19.

[4.31] M.M. Ballesteros Martín, J.A. Sánchez Pérez, S. Malato Rodríguez , J.L.Casas López, Nuria Sainz Herrán. Depuración de aguas contaminadas con plaguicidas mediante acoplamiento de foto-Fenton solar y fangos activos. 2nd International Conference on Renewable Energies and Water Technologies (CIERTA 2008). 2-3 Oct. 2008. Roquetas de Mar, Almeria, Spain. Poster Communication ID 20.

[4.32] Jose Antonio Sánchez Pérez, Maria de la Menta Ballesteros Martin, Sixto Malato Rodríguez, José Luis Casas López, Jose Luis García Sánchez. A two-stage schem for pesticide degradation. Integration of photocatalysis and biological oxidation. 30th Inter. Biotechnology Symp. and Exhibition. Oct 12-17, 2008. Dalian, China. J. Biotech. 136S (2008), pp. S674-657.

[4.33] Jose Antonio Sánchez Pérez, Maria de la Menta Ballesteros Martin, Sixto Malato Rodríguez, José Luis Casas López, Jose Luis García Sánchez. A two-stage schem for pesticide degradation. Integration of photocatalysis and biological oxidation. 30th Inter. Biotechnology Symp. and Exhibition. Oct 12-17, 2008. Dalian, China. J. Biotech. 136S (2008), pp. S674-657.

[4.34] A. Zapata ,M.I. Maldonado, J.A. Sánchez-Pérez, S. Malato. Solar Photo-Fenton Degradation of a Commercial Pesticide Mixture: Influence of Iron, Temperature and Salinity. Toxicity and Biodegradability Evaluation. 5° European Meeting on Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Applications. (Palermo October 4th – 8th 2008). Poster, Book of abstracts, PP2.40. 219.

[4.35] Zapata A., Oller I., Sirtori C., Maldonado M.I., Sánchez-Pérez J.A, Malato S. Decontamination of water containing commercial pesticides by combining solar photo–Fenton and biological treatment at pre-industrial scale. 2nd European Conference on Environmental Applications of advanced oxidation processes (EAAOP-2). Nicosia, Chipre, 9-11 Sept. 2009. Oral presentation. Proceedings ISBN 978-9963-689-09-05.

[4.36] Maria de la Menta Ballesteros Martin,Jose Antonio Sánchez Pérez, Jose Luis García Sánchez, José Luis Casas López, Sixto Malato Rodríguez. C-Removal kinetics in sequencing batch reactors for degradation of pesrticide mixtures pre-treated by photo-Fenton. 2nd European Conference on Environmental Applications of advanced oxidation processes (EAAOP-2). Nicosia, Chipre, 9-11 Sept. 2009. Oral presentation. Proceedings ISBN 978-9963-689-09-05.

[4.37] José Luis Casas López, Jose Antonio Sánchez Pérez, Maria de la Menta Ballesteros Martin, Jose Luis García Sánchez, Sixto Malato Rodríguez. Integration of solar photocatalysis andd membrane bioreactor for pesticide degradation. 2nd European Conference on Environmental Applications of advanced oxidation processes (EAAOP-2). Nicosia, Chipre, 9-11 Sept. 2009. Oral presentation. Proceedings ISBN 978-9963-689-09-05.

[4.38] Milena Lapertot, Sirous Ebrahimi, Isabel Oller, Manuel I. Maldonado, Wolfgang Gernjak, Sixto Malato, Cesar Pulgarin. Evaluating Microtox as a tool for biodegradability assessment of partially treated solutions of pesticides using Fe3+ and TiO2 solar photo-assisted processes. Ecotoxicology and Environmental Safety 69, 546–555, 2008.

[4.39] Ivan Muñoz, Sixto Malato Amadeo Rodríguez, Xavier Doménech. Integration of environmental and economic performance of processes. Case study on advanced oxidation processes for wastewater treatment. J. Adv. Oxid. Technol., 11, 270-275, 2008.

[4.40] C. Sirtori, A. Zapata, I. Oller, W. Gernjak, A. Agüera, S. Malato. Decontamination industrial pharmaceutical wastewater by combining solar photo-Fenton and biological treatment. Wat Res. 43, 661–668, 2009.

[4.41] C. Sirtori, A. Zapata, I. Oller, W. Gernjak, A. Agüera, S. Malato. Solar photo–Fenton as finishing step for biological treatment of a real pharmaceutical wastewater. Env. Sci. Technol., 43, 1185-1191, 2009.

[4.42] Carla Sirtori, Ana Zapata, Sixto Malato, Wolfgang Gernjak, Amadeo R. Fernández-Alba, Ana Agüera. Solar photocatalytic treatment of quinolones: intermediates and toxicity evaluation. Photochem. Photobiol. Sci., 8, 644–651, 2009.

[4.43] Vítor J. P. Vilar, Manuel I. Maldonado, I. Oller, Sixto Malato, Rui A. R. Boaventura. Solar Treatment of Cork Boiling and Bleaching Wastewaters in a Pilot Plant. Wat Res. 43, 4050-4062, 2009.

[4.44] Vilar, V. J. P.; Gomes, A. I. E.; Ramos, V. M.; Maldonado M. I.; Boaventura, R. A. R.; "Solar photocatalysis of a recalcitrant coloured effluent from a wastewater treatment plant". Photochem. Photobiol. Sci., 2009, 8, 691-698.

[4.45] Alam G. Trovó, Raquel F.P. Nogueira, Ana Agüera, Amadeo R. Fernandez-Alba, Carla Sirtori, Sixto Malato. Degradation of sulfamethoxazole in water by solar photo-Fenton. Chemical and toxicological evaluation. Wat Res. 43, 3922-3931, 2009.

[4.46] W. Gernjak, C. Sirtori, A. Zapata, I. Oller, M.I. Maldonado, S. Malato. Combined photo-Fenton/biotreatment for treating saline pharmaceutical wastewater. Int. Congress and Exhibition Environmental Techniology and Renewable Energy. Vienna, Austria. 31-01-08/01-02-08. Poster 54.

[4.47] W. Gernjak, S. Malato, C. Pulgarín, G. macolo, A. Pollice, C. Vogelsang, B. Plosz, A. Lopez. Combiningg advanced oxidation processes and biological treatment. Int. Congress and Exhibition Environmental Techniology and Renewable Energy. Vienna, Austria. 31-01-08/01-02-08. Poster 55.

[4.48] Sixto Malato, C. Sirtori, A. Zapata, I. Oller, M.I. Maldonado, P. Fernández-Ibáñez, W. Gernjak. Combined detoxification Technologies: Solar photocatalytic process coupled with treatment for decontamination of pharmaceutical wastewater. 2nd International Conference on Renewable Energies and Water Technologies (CIERTA 2008). 2-3 Oct. 2008. Roquetas de Mar, Almeria, Spain. Oral Communication ID 60.

[4.49] C. Sirtori, A. Zapata, I. Oller, S. Malato, W. Gernjak. Treatment of Industrial Pharmaceutical Wastewater by a Combined Solar Photo–Fenton and Biological Treatment System. 5° European Meeting on Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Applications. (Palermo October 4th – 8th 2008). Oral, Book of abstracts, OP5.6.

[4.50] A.G. Trovó, R.F.P. Nogueira, A. Aguera López, A. Fernández-Alba, C. Sirtori, S. Malato. Solar degradation of the antibiotic sulfamethoxazole by photo-Fenton process at a pilot plant scale – identification of intermediate products and toxicity assessment. 5° European Meeting on Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Applications. (Palermo October 4th – 8th 2008). Poster, Book of abstracts, PP5.17.

[4.51] M. S. Lucas, M. I. Maldonado, W. Gernjak, C. Sirtori, A. Zapata, J. A. Peres. "Solar Photo-Fenton Treatment of Winery Wastewater". 5th European Conference on Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Applicantions (SPEA5). Palermo (Sicilia)-Italy. October 4-8, 2008. Poster, Book of abstracts, PP 2.35.

[4.52] A. Agüera, C. Sirtori, A. Zapata, S. Malato, W. Gernjak, A. R. Fernández-Alba. Treatment of Quinolones by Heterogeneous Photocatalysis under Solar Radiation: Intermediates and Toxicity Evaluation. 5° European Meeting on Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Applications. (Palermo October 4th – 8th 2008). Poster, Book of abstracts, PP1.2.

[4.53] M. Boyle, C. Sichel, Pilar Fernández-Ibáñez, G.B. Arias-Quiroz, M. Iriarte-Puña, E. Ubomba-Jaswa, K.G. McGuigan "Bactericidal effect of solar water disinfection under real sunlight conditions." Applied & Environ. Microbiol. 74(10) 2997-3001, 2008.

[4.54] C. Navntoft, E. Ubomba-Jaswa, K.G. McGuigan, P. Fernández-Ibáñez. "Effectiveness of solar disinfection using batch reactors with non-imaging Aluminium reflectors under real conditions: natural well wa-

ter and solar light." J. Photochem. Photobiol. B: Biology, 93, 155-161, 2008.

[4.55] E. Ubomba-Jaswa, C. Navntoft, I. Polo-López, P. Fernández-Ibáñez, K.G. McGuigan "Solar disinfection of drinking water (SODIS): An investigation of the effect of UVA dose on inactivation efficiency " Photochem. Photobiol. Sciences, 8(5), 587-595, 2009.

[4.56] C. Navntoft, L. Dawidowski, M. A. Blesa, P. Fernández-Ibañez, E.A. Wolfram, A. Paladini. "Correlation between UV-A irradiance from measurements at 380 nm. Comparison of modelled and real irradiance values in Argentina and Spain." Solar Energy, 83(2), 280-286, 2009.

[4.57] E. Ubomba-Jaswa, P. Fernandez-Ibanez, C. Navntoft, M.I. Polo-López, K.G. McGuigan, "Investigating the Microbial Inactivation Efficiency of a 25 Litre Batch Solar Disinfection (SODIS) Reactor Enhanced with a Compound Parabolic Collector (CPC) for Household Use" Journal of Chemical Technology & Biotechnology, in press.

[4.58] H. Gómez-Couso, M. Fontán-Saínz, C. Sichel, P. Fernández-Ibáñez, E. Ares-Mazás "Solar disinfection of turbid waters experimentally contaminated with Cryptosporidium parvum oocysts under real field conditions" Tropical Medicine and International Health, 14(6), 1-9, 2009.

[4.59] Fernández-Ibáñez P., Polo-Lopez M.I., García-Fernández I. Disinfection of water by advanced Technologies using solar energy. Oral Communications. INNOVA-MED Conference on Innovative processes and practices for wastewater treatment and re-use in the Mediterranean region. Girona, Spain, 8-9 Oct. 2009.

[4.60] P.S.M. Dunlop, D.M. Alrousan, M.I. Polo-López, P. Fernández-Ibáñez, J.A. Byrne. "Enhancing Solar Disinfection of Water for Application in Developing Regions " Com. Oral. 15th Health Related Water Microbiology Symposium. Naxos, Greece, 31 May-5 June 2009.

[4.61] E. Ubomba-Jaswa, K.G. McGuigan, C. Navntoft, I. Polo-López, P. Fernández-Ibáñez "Solar disinfection of water containing E. coli K-12 in CPC-continuous flow reactors" Com. Oral. ID42. 2nd International Conference on Renewable Energies and Water Technologies (CIERTA 2008), Roquetas de Mar, Almería, 02-03 Octubre 2008.

[4.62] Polo-Lopez M.I., Fernández-Ibáñez P., Ubomba-Jaswa E., McGuigan K.G., Navntoft C., Dunlop P.S.M., Schmidt M., Byrne J.A. Application of the "uninterrupted lethal UVA dose" concept to scaling-up solar water disinfection. Oral Communication. International Research Colloquium of the Network to Promote Household Water Treatment and Safe Storage (HWTS). Dublin, Ireland, 21-23 Sept. 2009.

[4.63] M.I. Polo-López, E. Ubomba-Jaswa, C. Navtoft, K.G. McGuigan, P. Fernández-Ibáñez. "Solar Disinfection of Water Contaminated with E. coli in a Low Cost Compound Parabolic Collector (CPC) reactor " Com. Poster. 15th Health Related Water Microbiology Symposium. Naxos, Greece, 31May-5June 2009.

[4.64] Ubomba-Jaswa E., Navntoft C., Fernández-Ibáñez P., McGuigan K.G. Investigation of Microbial Inactivation Efficiency of a Water Solar Disinfection (SODIS) System for Household Use. Com. Oral. 2nd Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes. Nicosia, Cyprus, 9-11 Sept. 2009. Proceedings book ISBN 978-9963-689-09-5.

[4.65] P. Fernández-Ibáñez, E. Ubomba-Jaswa, I. Polo-López, C. Navntoft, K.G. McGuigan. "Inactivation of Escherichia coli K-12 Contaminated Water Using Solar Disinfection (SODIS) Under Different Conditions" Com. Poster. P10. 5th European Meeting on Solar Chemistry and

Photocatalysis: Environmental Applications (SPEA 5). Palermo, Italy, Oct. 04-08 2008.

[4.66] E. Ubomba-Jaswa, M.I. Polo-López, P. Fernández-Ibáñez, K.G. McGuigan. "Effect of Turbidity on Solar Disinfection of E. coli K12 Contaminates Water in Polyethylene Terephthalathe (PET) bottles" Com. Oral. 15th Health Related Water Microbiology Symposium. Naxos, Greece, 31May-5June 2009.

[4.67] H. Gómez-Couso, M. Fontán-Sainz, C. Sichel, P. Fernández-Ibáñez, E. Ares-Mazas. "Efficacy of Solar Disinfection (SODIS) of Turbid Waters Experimentally Contaminated with Cryptosporidium parvum Oocysts Under real Field Conditions" Com. Poster. 15th Health Related Water Microbiology Symposium. Naxos, Greece, 31May-5June 2009.

[4.68] H. Gómez-Couso, M. Fontán-Sainz, J. Fernández-Alonso, C. Navntoft, P. Fernández-Ibáñez, E. Ares-Mazas. "Use of CPC Mirrors to Enhance SODIS Procedures Against Cryptosporidium parvum Oocysts " Com. Poster. 15th Health Related Water Microbiology Symposium. Naxos, Greece, 31May-5June 2009.

[4.69] Gómez-Couso H., Fontán-Sainz M., Fernández-Ibáñez P., Ares-Mazas E. SODIS and Cryptosporidium: optical and thermal effects on the oocyst viability under natural sunlight. Oral Communication. International Research Colloquium of the Network to Promote Household Water Treatment and Safe Storage (HWTS). Dublin, Ireland, 21-23 Sept. 2009.

[4.70] Gomez-Couso H., Fontán-Sainz M., Fernández-Alonso J., Navntoft C., Fernández-Ibáñez P., Ares-Mazas E. Advances in SODIS against Cryptosporidium using CPC mirrors over standard PET bottles. Poster. International Research Colloquium of the Network to Promote Household Water Treatment and Safe Storage (HWTS). Dublin, Ireland, 21-23 Sept. 2009.

[4.71] Ubomba-Jaswa E., Fernández-Ibáñez P., McGuigan K.G. Evaluating the genotoxicity of solar disinfected water in PET bottles using the Salmonella Ames-fluctuation test. Oral Communication. International Research Colloquium of the Network to Promote Household Water Treatment and Safe Storage (HWTS). Dublin, Ireland, 21-23 Sept. 2009.

[4.72] Byrne J.A., Alrousan D.M.A., Dunlop P.S.M., Polo-Lopez M.I., Fernández-Ibáñez P., Pilot scale solar photocatalytic disinfection of water. Oral communication. International Research Colloquium of the Network to Promote Household Water Treatment and Safe Storage (HWTS). Dublin, Ireland, 21-23 Sept. 2009.

[4.73] Dunlop P.S.M., Alrousan D.M.A., Polo-Lopez M.I., Fernández-Ibáñez P., Byrne J.A. Enhancing solar water disinfection (SODIS) for application in developing regions. Poster. International Research Colloquium of the Network to Promote Household Water Treatment and Safe Storage (HWTS). Dublin, Ireland, 21-23 Sept. 2009.

[4.74] Polo-López, M.I. Fernández-Ibáñez, P. García-Fernández, I. Oller, I. Salgado-Tránsito, I., Sichel C., "Resistance of Fusarium sp spores to solar TiO2 photocatalysis: influence of type of spore and water matrix" Journal of Chemical Technology & Biotechnology, in press.

[4.75] Sichel, C., Fernández-Ibáñez, P., Tello, J., de Cara, M. "Lethal synergy of solar UV-radiation and H2O2 on wild Fusarium solani spores in distilled and natural well water." Water Research, 43, 1841-1850, 2009.

[4.76] Sichel, C., Fernández-Ibáñez, P., Tello, J., de Cara M., "Lethal synergy of solar UV-radiation and H2O2 on wild Fusarium solani spores in distilled and natural well water." Water Research, 43, 1841-1850, 2009.

[4.77] P. Fernández-Ibáñez, C. Sichel, I. Polo-López, M. de Cara-García, J. C. Tello "Photocatalytic disinfection of natural well water contaminated with Fusarium solani using TiO2 slurry in solar CPC photoreactors" Catalysis Today, 144, 62-68, 2009.

[4.78] P. Fernández-Ibáñez, C. Sichel, I. Polo-López, M. de Cara-García, J. C. Tello "Photocatalytic disinfection of natural well water contaminated with Fusarium solani using TiO2 slurry in solar CPC photoreactors" Catalysis Today, 144, 62-68, 2009.

[4.79] P. Fernández, C. Sichel, J. Tello. "Desinfección mediante radiación solar del agua de riego en sistemas recirculantes" Plant Flor 128, 120-121, 2008.

[4.80] P. Fernández-Ibañez, J. Blanco, C. Sichel, I. Polo-López, M. de Cara, J.C. Tello "Photocatalytic disinfection of phytopathogenic fungi: Experiences in solar CPC-reactors" Com. Oral. ID43. 2nd International Conference on Renewable Energies and Water Technologies (CIERTA 2008), Roquetas de Mar, Almería, 02-03 Octubre 2008.

[4.81] C. Sichel, P. Fernández-Ibáñez, J. Blanco, I. Polo-López, M. de Cara, J.C. Tello, I. Salgado-Tránsito. "Photocatalytic disinfection of water contaminated with Fusarium solani using TiO2 slurry in solar CPC photo-reactors" Com. Poster. P34. 5th European Meeting on Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Applications (SPEA 5). Palermo, Italy, Oct. 04-08 2008.

[4.82] M.I. Polo-López, I. García-Fernández, M. de Cara, J.C. Tello, P. Fernández-Ibáñez. "Photocatalytic disinfection of Water Contaminated with Fusarium solani in a Compound Parabolic Collector (CPC) reactor " Com. Oral. 15th Health Related Water Microbiology Symposium. Naxos, Greece, 31May-5June 2009.

[4.83] M.I. Polo-López, I. García-Fernández, I. Oller, P. Fernández-Ibáñez, I. Salgado Tránsito Fusarium sp Disinfection by Solar Photocatalysis with TiO2 Slurry in aCompound Parabolic Collector (CPC) Reactor. Com. Oral. 2nd Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes. Nicosia, Cyprus, 9-11 Sept. 2009. Proceedings book ISBN 978-9963-689-09-5.

[4.84] Polo-Lopez M.I., García-Fernández I., Salgado-Tránsito I., Oller I., Fernández-Ibáñez P., Disinfection of water contaminated with agricultural pathogens using TiO2 photocatalysis in a solar pilot plant. Poster. International Research Colloquium of the Network to Promote Household Water Treatment and Safe Storage (HWTS). Dublin, Ireland, 21-23 Sept. 2009.

[4.85] García-Fernández I., Polo-Lopez M.I., Oller I., Fernández-Ibáñez P., Phytopathogen (Fusarium solani) inactivation in water through solar Photo-Fenton. Poster. International Research Colloquium of the Network to Promote Household Water Treatment and Safe Storage (HWTS). Dublin, Ireland, 21-23 Sept. 2009.

[4.86] H. Gómez-Couso, M. Fontán-Saínz, C. Sichel, P. Fernández-Ibáñez, E. Ares-Mazás. "Solar disinfection of turbid waters experimentally contamina-ted with Cryptosporidium parvum oocysts under real field conditions" Tropical Medicine and International Health, 14(6), 1-9, 2009.

[4.87] M. S. Lucas, R. Mosteo, M. I. Maldonado, S. Malato, J. A. Peres. "Solar pho-tochemical treatment of winery wastewater in a CPC reactor". J. Agric. Food. Chem. 2009, 57, 11242-11248.

[4.88] J. Radjenovic, C. Sirtori, M. Petrovic, D. Barceló, S. Malato. "Solar photo-catalytic degradation of persistent pharmaceuticals at pilot-scale: ki-netics and characterization of major intermediate products". Applied Catalysis B: Environmental, 89, (2009) 255-264.

[4.89] F. Méndez-Arriaga, M. I. Maldonado, J. Gimenez, S. Esplugas, S. Malato. "Abatement of ibuprofen by solar photocatalysis process: En-hance-ment and scale-up". Catalysis Today, 144 (2009), 112-116.

[4.90] C. Adán, A. Martínez-Arias, S. Malato, A. Bahamonde. "New insights on solar photocatalytic degradation of phenol over Fe-TiO2 catalysts: photo-complex mechanism of iron lixiviates". Applied Catalysis B: Environmental 93 (2009) 96–105.

[4.91] González O., Sans C., Esplugas S., Malato S. Application of solar advanced oxidation processes to the degradation of the antibiotic sulfamethoxazole. Photochem. Photobiol. Sci., 8, 1032-1039, 2009.

[4.92] M. J. Farré, M. I. Maldonado, W. Gernjak, I. Oller, S. Malato, X. Domènech, J. Peral. "Coupled solar photo-Fenton and biological treatment for the degradation of diuron and linuron herbicides at pilot scale". Chemosphere 72 (2008) 622-629.

[4.93] J. García-Montaño, L. Pérez-Estrada, I. Oller, M. I. Maldonado, F. Torrades, J. Peral. "Pilot plant scale reactive dyes degradation by solar Photo-Fenton and biological processes". Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry 195 (2008) 205-214.

[4.94] J. García-Montaño, F. Torrades, L. Pérez-Estrada, I. Oller, S. Malato, M. I. Maldonado, J. Peral. "Degradation pathways of the commercial reactive azo dye porción red H-E7B under solar-assisted photo-Fenton reac-tion". Environ. Sci. Technol. (2008), 42, 6663-6670.

[4.95] F. Méndez-Arriaga, M. I. Maldonado, J. Giménez, S. Esplugas, S. Malato. "Abatement of Ibuprofen in Water by Solar Photocatalytic Process: Enhancement and Scale up". 5th European Conference on Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Applicantions (SPEA5). Palermo (Sicilia)-Italy. October 4-8, 2008.

[4.96] M. S. Lucas, M. I. Maldonado, W. Gernjak, C. Sirtori, A. Zapata, J. A. Peres. "Solar Photo-Fenton Treatment of Winery Wastewater". 5th European Conference on Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Applican-tions (SPEA5). Palermo (Sicilia)-Italy. October 4-8, 2008.

[4.97] O. González, C. Sans, S. Esplugas, S. Malato. Application Of Solar Advanced Oxidation Processes To The Degradation Of Sulfamethoxazole Antibiotic. 5° European Meeting on Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Applications. (Palermo October 4th – 8th 2008). Poster, Book of abstracts, PP1.9.

[4.98] C. Adán, A. Bahamonde, A. Martínez-Arias, S. Malato. Solar Photocatalytic Degradation of Phenol Over Fe-TiO2 Catalysts: Photo-complex Mechanism of Iron Lixiviates. 5° European Meeting on Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Applications. (Palermo October 4th – 8th 2008). Poster, Book of abstracts, PP1.1.

[4.99] M. S. Lucas, R. Mosteo, M. I. Maldonado, S. Malato, J. A. Peres. "Photo-chemical treatment of a winery wastewater in a solar pilot plant". 5th International specialized conference on sustainable viticulture: winery waste and ecologic impacts in management. Trento and Verona. Italy, 30th March – 3rd April 2009. Proceedings book ISBN 978-88-8443-284-1, pp. 109-115.

[4.100] M. S. Lucas, R. Mosteo, M. I. Maldonado, S. Malato, J. A. Peres. "Solar treatment and detoxification of a winery wastewater in a CPC

reac-tor". 1st International Edition - "Photocatalytic Products and Technologies Conference" PPTC'09. Guimarães, Portugal, 11th and 13th May 2009 (Oral communication).
[4.101] P. Fernández Ibáñez "Water Disinfection Using Solar Energy" Oral com. Mediterranean Workshop: New technologies of recycling non conventional water in rotated cultivation opportunities and new challenges for arid and semi-arid areas, Institute of Agronomy and Veterinary Hassan II, Agadir (Morocco), 28 April-1 May 2008. Proc. book, pp. 23.
[4.102] S. Malato. Optimisation de la strategie de traitement des AOPs. Atelier Mediterraneen sur les Nouvelles Technologies de Recyclage des Eaux. L'Institut Agronomique et Veterinaire Hassan II. 28 Abril-1 Mayo 2008, Agadir, Marrruecos. Oral
[4.103] Ana Zapata, Isabel Oller, Raphael Gallay, César Pulgarín, Manuel Ignacio Maldonado, Sixto Malato and Wolfgang Gernjak. (2008). Comparison of Photo-Fenton Treatment and Coupled Photo-Fenton and Biological Treatment for Detoxification of Pharmaceutical Industry Contaminants. J. Adv. Oxid. Technol., 11 (2), 261-269;
[4.104] Jelena Radjenovi'c, Carla Sirtori, Mira Petrovi'c, Damiá Barceló, Sixto Malato. (2009). Solar photocatalytic degradation of persistent pharmaceuticals at pilot-scale: Kinetics and characterization of major intermediate products. Appl. Catal. B: Environ., 89, 255-264. 2009.
[4.105] Sánchez Cabrero, Benigno; Portela Rodríguez, Raquel; Suárez Gil, Silvia; Coronado Carneiro, Juan. "Fotorreactor tubular para fotocatalizadores soportados". Patente española solicitada Nº P200931134 (2009).
[4.106] Raquel Portela. Eliminación fotocatalítica de H2S en aire mediante TiO2 soportado sobre sustratos transparentes en el UV-A. Editorial CIEMAT, Madrid, Spain. ISBN: 978-84-7834-610-3. 183 pag. (2009).
[4.107] Noemí Arconada, Yolanda Castro, Alicia Durán, Silvia Suárez, Raquel Portela, Juan M. Coronado y Benigno Sánchez. "Synthesis and photocatalytic propeties of dense and porous TiO2-anatase thin films prepared by sol-gel", Appl. Catal. B, 86(1-2), 1-7, (2009)
[4.108] Thiago L.R. Hewer, Silvia Suárez, Juan M. Coronado, Raquel Portela, Pedro Ávila y Benigno Sánchez. "Hybrid photocatalysts for the degradation of TCE in air", Catal. Today, 143(3-4), 302-308, (2009).
[4.109] Juan M. Coronado, Silvia Suárez, Raquel Portela y Benigno Sánchez. "Preparation of photocatalytic coatings adapted to the elimination of airborne pollutants: influence of the substrate on the degradation efficiency" J. Adv. Oxid. Techno/. 11(2) 361-369 (2008)
[4.110] Raquel Portela, Maria C. Canela, Benigno Sánchez, Fabielle C. Marques, Alexandre M. Stumbo, Ronan F. Tessinari, Juan M. Coronado, Silvia Suárez "H2S photodegradation by TiO2/M-MCM-41 (M = Cr or Ce): Deactivation and by-product generation under UV-A and visible light". Appl. Catal. B. 11(2) 361-369 (2008).
[4.111] B. Sánchez, M. Sánchez-Muñoz, M. Muñoz-Vicente, G. Cobas, R. Portela, S. Suárez, A. E. González, N. Rodríguez and R. Amils "Photocatalytic degradation of bioaerosols and VOCs in real indoor air" Indoor Air (in process).
[4.112] M. D. Hernández-Alonso, F. Fresno, S. Suárez, J.M. Coronado, Energy & Environmental Science 2 (2009) 1231-1257.
[4.113] T.L.R. Hewer, S. Suárez, J.M. Coronado, R. Portela, P. Ávila y B. Sánchez. "Hybrid photocatalysts for the degradation of TCE in air", Catal. Today, 143(3-4), 302-308, 2009.

[4.114] J.C. Martín, S.B. Rasmussen, S. Suárez, M. Yates, F.J. Gil Llambías, M. Villarroel, P. Ávila. "Effect of Sulphuric Acid Pretreatment Concentration on the behaviour of CoOX/γ-Al2O3-SO4 Monolithic Catalysts in the Lean CH4-SCR process", Applied Catalysis B, 91(1-2), 423-427, 2009.

[4.115] J.C. Martín, S. Suárez, M. Yates, P. Avila. " Pd/ γ-Al2O3 monolithic catalysts for the NO reduction with CH4 in excess of O2: effect of precursor salt", Chemical Engineering Journal, 150(1), 8-14, 2009.

[4.116] Diego-César Alarcón-Padilla, Julián Blanco-Gálvez, Lourdes García-Rodríguez, Wolgang Gernjak, Sixto Malato-Rodríguez. 2008. First experimental results of a new hybrid solar/gas multi-effect distillation system: the AQUASOL project. Desalination 220, 619–625.

[4.117] Diego Alacón. Solar organic Rankine cycles for fresh water production: pilot test facility at the Plataforma Solar de Almería (Spain). In: Desalination for the Environment. Clean Water adn Energy. May 17-20, 2009. Baden-Baden, Germany.

[4.118] Lourdes García-Rodríguez, Julián Blanco-Gálvez. Solar-heated Rankine cycles for water and electricity production (2007). POWERSOL Project. Desalination 212, 311-318.

[4.119] Julián Blanco-Gálvez, Lourdes García-Rodríguez, Agustín Delgado-Torres, Diego C. Alarcón-Padilla and Martín Vincent. Organic rankine cycle driven by parabolic trough solar collectors: pilot test facility at the Plataforma Solar de Almería. SolarPACES 2008, 4-7 March 2008, Las Vegas, USA.

[4.120] Julián Blanco, Diego Alarcón, Wolfgang Gernjak, Elena Guillén. The AQUASOL system: solar collector field efficiency and solar-only mode performance. SolarPACES 2008, 4-7 March 2008, Las Vegas, USA.

[4.121] Julián Blanco Gálvez, Lourdes García-Rodríguez, Isabel Martín-Mateos. 2009. Seawater desalination by an innovative solar-powered membrane distillation system: the MEDESOL project. Desalination 246, 567–576.

[4.122] E. Guillén, W. Gernjak, D. Alarcón, J. Blanco. "MEDESOL Project: Seawater Desalination by Solar Driven Membrane Distillation". EUROSUN. 1st International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings. Lisboa, Portugal, 7-10 Octubre, 2009. Book of abstracts. Oral.

[4.123] E. Guillén, W. Gernjak, D. Alarcón, J. Blanco. "Proyecto MEDESOL: Desalación de agua de mar mediante destilación solar por membrana". CIERTA 2008. Conferencia Internacional sobre Energías Renovables y Tecnologías del Agua. Almeria, España, 2-3 Octubre, 2008. Oral.

[4.124] E. Guillén, D. Alarcón, J. Blanco, W. Gernjak, M. Ibarra, P. Palenzuela, G. Zaragoza. "The MEDESOL Project: Seawater desalination by innovative solar powered membrane distillation". EU- China Workshop. Membrane Based Desalination: an Integrated Approach (MEDINA). Qingdao, China, 4-6 Septiembre, 2009.Oral.

[4.125] E. Guillén, D. Alarcón, J. Blanco, W. Gernjak, M. Ibarra, P. Palenzuela, G. Zaragoza. "Solar Desalination by Air Gap Membrane Distillation: the Medesol Project". SolarPACES 2009. Berlin, Alemania, 15-18 Septiembre, 2009. Book of abstracts. Oral.

[4.126] Papapetrou, M. et al. 2009. ProDes methodology for supporting the use of renewable energy systems in desalination applications. Desalination and Water Treatment 3, 204-209.

[4.127] Patricia Palenzuela, Julián Blanco, Diego Alarcón, Guillermo Zaragoza, Elena Guillén, Mercedes Ibarra. "Preliminary analysis of the coupling of MED desalination units to parabolic-trough solar power plants". SolarPACES 2009. Berlin, Alemania, 15-18 Septiembre, 2009. Book of abstracts. Oral

5 Eventos

Diego Martínez Plaza

El día 17 de enero de 2008 tuvo lugar en la PSA la inauguración del nuevo sistema de colectores cilindro-parabólicos dedicado al estudio de nuevos fluidos de trabajo.

Este nuevo 'lazo de gas' es un proyecto particularmente promovido por la Dirección General del CIEMAT con el que se pretende explorar la viabilidad de usar gases inertes como CO_2 o N_2 en un sistema CCP.

La dirección científica de este proyecto recae en el Premio Nobel de Física, Dr. Carlo Rubbia.

Otra instalación de ensayo fue inaugurada unas semanas después, el 31 de marzo.

Se trata del reactor para producción de hidrógeno con tecnología de torre, asociado al proyecto 'HYDROSOL-II'. Este es un importante proyecto multina-

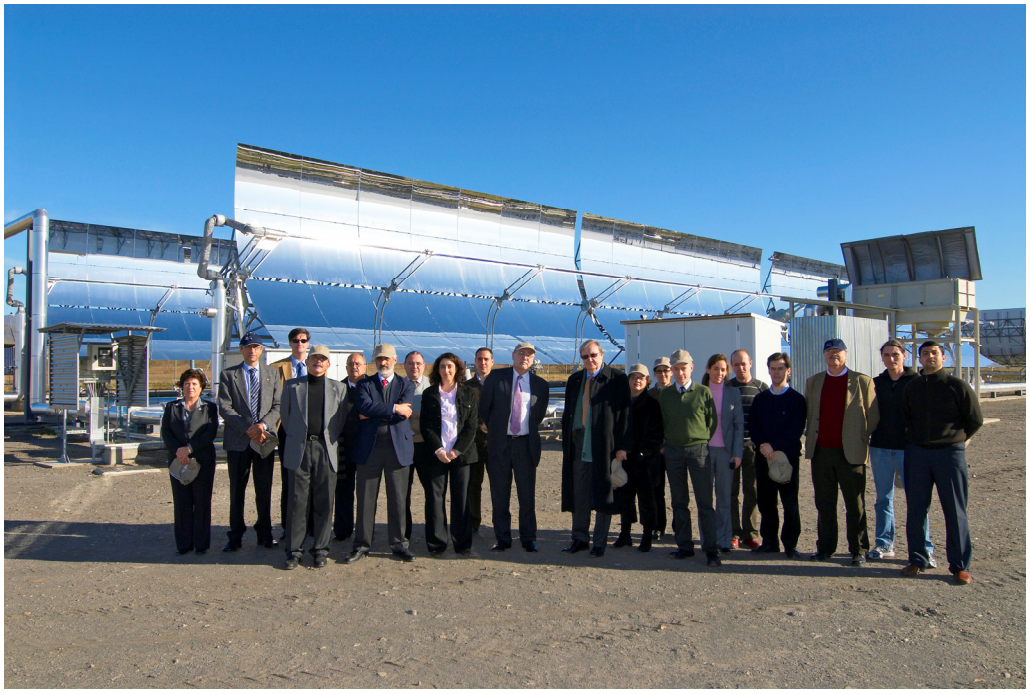


Figura 5.1 Grupo de trabajo del proyecto 'Lazo de Gas'

Figura 5.2 Seminario sobre la tcnología 'Hydrosol'

cional con financiación parcial a través del VI Programa Marco para I+D de la Comisión Europea.

Asistieron a la inauguración representantes de todas las instituciones participantes en el proyecto, haciéndolo por parte del CIEMAT el Director del Departamento de Energía, Prof. Cayetano López.

La jornada se inició con un seminario donde se explicó a los asistentes en qué consiste la tecnología desarrollada y cuales son la planificación y los resultados esperados del proyecto.

Posteriormente, los asistentes visitaron la instalación Hydrosol-II en el CRS, donde un técnico del proyecto explicó la campaña prevista de ensayos y los diferentes equipos empleados.

Ya en 2009, la Sra. Ministra de Ciencia e Innovación Dña. Cristina Garmendia visitó la PSA el 23 de marzo.

Figura 5.3 Visita a la Sala de Control del CRS

Figura 5.4 El Director General de CIEMAT, Juan Antonio Rubio, recibe a la Sra. Ministra a su llegada a la PSA

Aparte de conocer nuestras instalaciones, la Sra. Ministra aprovechaba la ocasión para anunciar la inversión extraordinaria de 10 M€ a realizar en la PSA con motivo del 'Plan E' del Gobierno de España (*Fondo Especial del Estado para la Dinamización de la Economía y el Empleo*).

Además de la Sra. Ministra, y entre otras personalidades, recibimos aquel día al Consejero de Ciencia, Innovación y Empresa de la Junta de Andalucía, D. Francisco Vallejo Serrano y a la delegada provincial para Almería, Dña. Sonia Rodríguez. También nos acompañó el alcalde de Tabernas, D. Antonio Úbeda.

Figura 5.5 Rueda de prensa en la Sala de Control del DISS

En primer lugar se realizó una detallada visita a las instalaciones experimentales de la PSA, donde los diversos responsables de investigación pusieron al día a la Sra. Ministra respecto de las actividades que se llevan a cabo en nuestro Centro.

Posteriormente, en la Sala de Control del DISS, se llevó a cabo una rueda de prensa con los medios presentes en el evento.

Además la Sra. Ministra participó en una sesión de 'chat' organizada por el Gabinete de Prensa del MICINN, donde contestó a preguntas relacionadas con el 'Plan E' y las diversas iniciativas emprendidas por el MICINN.

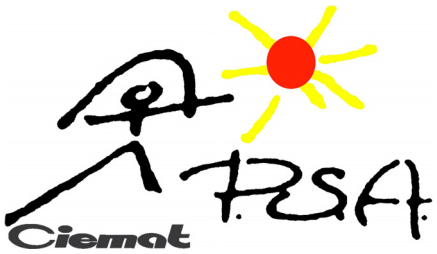
6 Lista de Acrónimos

3iA - UNSAM ...	Instituto de Investigación e Ingenería Ambiental de la Universidad Nacional de San Martín (ARG)
A	Austria
ACTP	acetaminofen
AECID	Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo
AMES	Unidad de Aplicaciones Medioambientales de la Energía Solar
AENOR.....	Asociación Española de Normalización y Certificación
AR	antireflexivo
ARFRISOL	Arquitectura Bioclimática y Frío Solar
ARG	Argentina
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ATL	atenolol
ATD.....	automated thermal desorber
BFA.....	Bifenol A
BLG.....	Bulgaria
BOKU	Universtität Für Bodenkultur (A)
BRA.....	Brazil
BSRN.....	Baseline Surface Radiation Network (BSRN)
CCP.....	Colectores cilindro-parabólicos
CDTI	Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial
CE.....	Comisión Europea
CENER.....	Centro Nacional de Energías Renovables
CENIM	Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas
CENIT.....	Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial
CESA.....	Central Eléctrosolar de Almería
CG	Cromatografía de gases
CH	Suiza
CID-CSIC.	Centro de Investigación y Desarrollo
CIEMAT....	Centro de investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas
CIESOL....	Centro para la Investigación de la Energía Solar
CITET	Centro Internacional de Tecnologías del Medioambiente (TUN)
CNR	Consiglio Nazionale delle Ricerche (I)
COD	Carbono orgánico disuelto
COEXPHAL	Asociación Provincial de Empresarios de Productos Hortofrutícolas de Almería
CONICET..	Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (ARG)

COT	carbono orgánico total
COVs.....	compuestos orgánicos volátiles
CPC.....	captadores cilindroparabólico compuestos
CRES.....	Centre for Renewable Energy Sources (GR)
CRO	Ciclo Orgánico de Rankine
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
CTAER	Centro Tecnológico Avanzado de Energías Renovables
CTTC.....	Centro Tecnológico Telecomunicaciones Cataluña
D	Alemania
DBO	demanda biológica de oxígeno
DG TREN..	Directorate-General for Transport and Energy
DISS	Direct Solar Steam
DISTAL....	Dish Stirling Almería
DLR.....	Instituto de Investigación Aeroespacial Alemán
DQO.....	demanda química de oxígeno
DRX	difracción de rayos X
E	España
EAWAG....	Instituto Suizo de Ciencias Acuáticas
EDAR.....	Estación depuradora de aguas residuales
EDS	European Desalination Society
EDX	energía dispersiva de rayos X
EFF	Europäischer Fischereifonds
EGY.....	Egipto
ENIT.....	Ecole Nationale d' Ingénieurs de Tunis
EOM	Estado de oxígeno medio
ERA-STAR	Space Technologies Applications & Research for the Regions and Medium-Sized Countries
ETH.....	Instituto Federal Suizo de Tecnología Zurich (CH)
F.....	Francia
FPI.....	formación de personal investigador
GACS	Grupo de Alta Concentración Solar (PSA)
GDV	generación directa de vapor
GMC.....	Grupo de Media Concentración
GR	Grecia
GDV	generación directa de vapor
HPLC	high performance liquid chromatography
HTF.....	heat transfer fluid
I	Italia
IAVCHA ...	Institute Agronomique et Veterinaire Asan II Agadir,
ICP-CSIC .	Instituto de Catalysis y Petroleoquímica
ICROSS ...	International Community for Relief of Starvation and Suffering (Kenya)
ICTS.....	instalaciones científico-tecnológicas singulares
ICV-CSIC .	Instituto de Cerámica y Vidrio
IDAE	Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
IDAEA-CSIC	Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua
I+D+i.....	Investigación, desarrollo e innovación
IDESA	Ingeniería y Desarrollo Solar

IIQAB-CSIC	Instituto de Investigaciones Químicas y Ambientales de Barcelona
IL.....	Israel
INCO	Actividades específicas de Cooperación Internacional
INENCO ...	Instituto Nacional de Energías No Convencionales (ARG)
INETI	Instituto Nacional de Engenharia, Tecnología e Inovação (P)
INRGREF..	Institut Nacional des Recherches en Génie Rural, Eaux et Forêts (T
INTA.....	Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial
INTEC.....	Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química
IRL.....	Irlanda
ITC.....	Instituto Tecnológico de Canarias
IWSD	Institution of Water and Sanitation Development (ZW)
JTI	European Joint Technology Initiative
LBNL	Lawrence Berkley National Laboratory (USA)
LC-OqTOFMS.	cromatografía líquida acoplada a un espectrómetro de masas con cuadrupolo y tiempo de vuelo
LECE	Laboratorio de Ensayo Energéticos de Componentes de Edificación (CIEMAT)
MAR	Morocco
MEC	Ministerio de Educación y Ciencia
MED	destilación multiefecto
MET.....	microscopía electrónica de transmisión
MNSV	vector del virus del cribado
MS	Espectrometría de masas
N	Noruega
NL.....	Paises Bajos
NTU.....	unidades nefelométricas de turbidez
NXA	ácido nalidíxico
P.....	Portugal
PAO.....	procesos avanzados de oxidación
PCM	materiales de cambio de fase (phase change materials)
PM	Programa marco (CE)
PSA.....	Plataforma Solar de Almería
PSE.....	Proyecto Singular Estratégico
PVDSA.....	Petroleos de Venezuela, S.A.
PYME.....	Pequeña y Mediana Empresa
QqToF	cuadrupolo y tiempo de vuelo
QUV	densidad de energía solar recibida
RAMSA	Régie autonome multiservice d'Agadir (MAR)
RCH	República de Chile
RCSI	Royal College of Surgeons (IRL)
RD	Real Decreto
S	Suecia
SCC.....	corrosión bajo tensión
SCU	Consejo Supremo de Universidades (EGY)
SEM	microscopio electrónico de barrido

SODIS	solar disinfection
SolarPACES	Solar Power And Chemical Energy Systems (IEA)
SolLAB.....	Laboratorio Asociado Europeo de Energía Solar
SSPS.....	Small Solar Power System
Syngas	gas de síntesis
TCE.....	tricloroetileno
TRC.....	tecnología de receptor central
TUN	Túnez
TUR.....	Turquía
UAL.....	Universidad de Almería
UE	Unión Europea
UENF	Universidade Estadual do Norte Fluminense (BRA)
UFC.....	unidades formadoras de colonias
UK	Reino Unido
UNED	Universidad Nacional de Educación a Distancia
UPLC.....	cromatógrafo de líquidos de ultra rendimiento
URJC.....	Universidad Rey Juan Carlos
USACH	Universidad de Santiago de Chile
USC	Universidad de Santiago de Compostela
USCS	Unidad de Sistemas de Concentración Solar
UU	University of Ulster (UK)
UV	ultravioleta
WIS	Weizmann Institute of Science (IL)
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