Plataforma
Solar de
Almería

INFORME ANUAL 2010

-

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 14
1.6.1 Acceso Nacional 14
1.6.2 Acceso Internacional: Proyecto SFERA 14
2 Instalaciones e infraestructuras 17
2.1 Descripción General de la PSA 17
2.2 Instalaciones de Receptor Central: CESA-1 y CRS 18
2.2.1 La instalación CESA-I de 7 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 FRESDEMO y CAPSOL 21
2.3.1 El lazo de ensayos HTF 21
2.3.2 La planta experimental DISS 23
2.3.3 Lazo de ensayos de gases presurizados en captadores cilindroparabólicos 24
2.3.4 El lazo FRESDEMO 26
2.3.5 Instalación CAPSOL 27
2.4 Sistemas Disco-Stirling: DISTAL y EURODISH 28
2.4.1 Fundamentos 28
2.4.2 DISTAL I 29
2.4.3 DISTAL II 30
2.4.4 EURODISH 30
2.5 El Horno Solar 31
2.5.1 Descripción General y Principio de Funcionamiento 31
2.5.2 Horno Solar SF-60 31
2.5.3 Nuevas Infraestructuras de Hornos Solares: los Hornos SF-40 y SF-5 33
2.6 Laboratorios de la Unidad de Sistemas Solares de Concentración ... 35
2.6.1 Laboratorio de Materiales 35
Figura 2.20. Vista del Laboratorio de Materiales de la PSA 35
2.6.2 Laboratorio de recubrimientos selectivos para receptores .. 36
2.6.3 Laboratorios de caracterización óptica y análisis de durabilidad de reflectores solares 40
2.6.4 Caracterización geométrica de reflectores y estructuras portantes 41
2.6.5 Laboratorio de Envejecimiento Acelerado y Durabilidad de Materiales. 43
2.6.6 Laboratorio de Radiometría de la PSA 45
2.7 Instalaciones de Detoxificación y Desinfección Solar 46
2.7.1 Laboratorio de Análisis de la PSA 49
2.7.2 Laboratorio de Aplicaciones Ambientales de la Radiación Solar en Aire 51
2.7.3 Planta de desalación solar mediante destilacion MED 53
2.7.4 Plataforma de Ensayo para Módulos de Destilación por Membranas 54
2.7.5 Instalación ORC solar 57
2.7.6 Plataforma de Ensayo de Captadores Solares Estáticos 58
2.8 Otras Instalaciones 58

2.8.1 Estación Meteorológica de la PSA 58
2.8.2 El laboratorio de calibración espectral 61
2.8.3 Laboratorio de Ensayos Energéticos para Componentes de la Edificación (LECE) 61
2.8.4 El Edificio Arfrisol 62
2.9 Plan 'E' y SolarNOVA (Feder) 63
2.9.1 Acciones relacionadas con las instalaciones experimentales 64
2.9.2 Acciones relacionadas con las infraestructuras generales y obra civil 64
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.

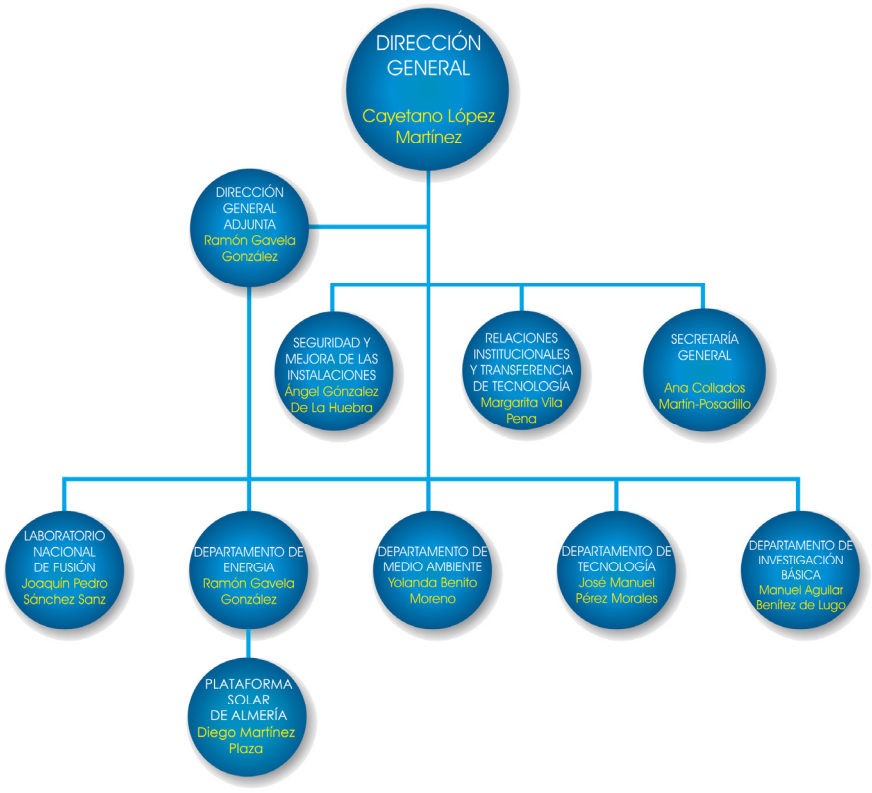


Figura 1.1. Estructura orgánica del CIEMAT desde 2011

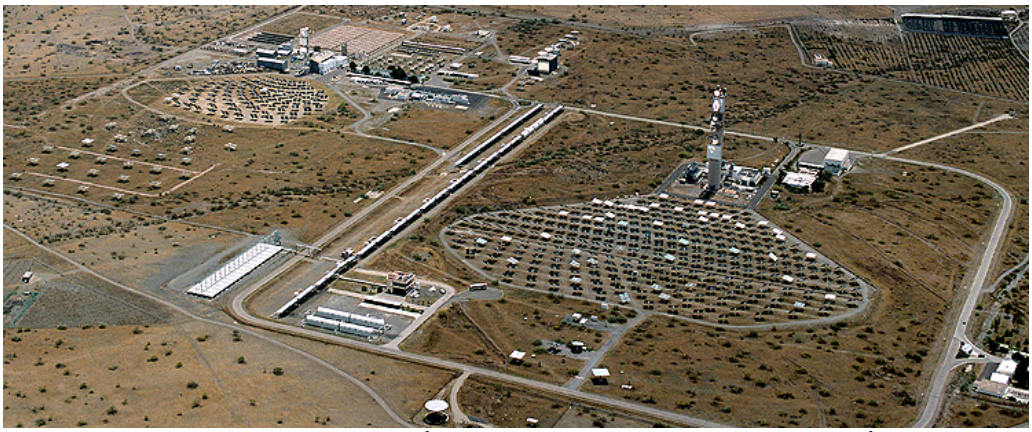


Figura 1.2. Vista aérea de la Plataforma Solar de Almería

Los objetivos que inspiran su actividad investigadora son los siguientes:

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

1.2 Estructura Funcional

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 mante-

ner 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 2010 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, 19 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 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.

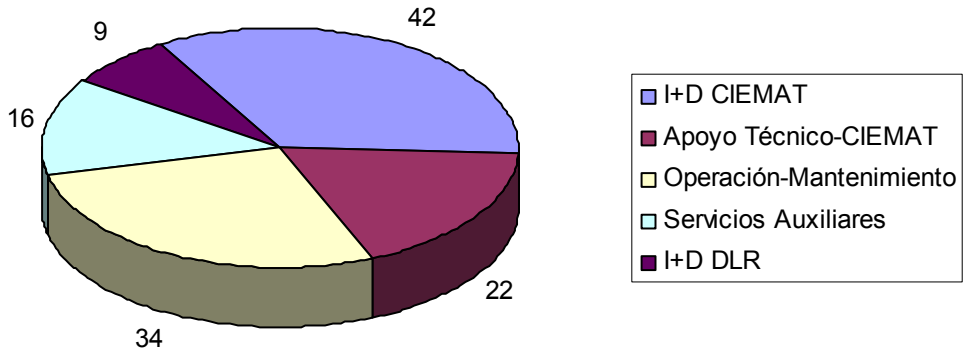


Figura 1.3. Distribución del personal que desarrolla su actividad en la PSA de forma permanente a Diciembre de 2010

El presupuesto operativo de la PSA alcanzó en el año 2010 los 4,8 millones de Euros (no se incluyen en este presupuesto los costes de personal de I+D ni los de las nuevas infraestructuras).

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.

Figura 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.

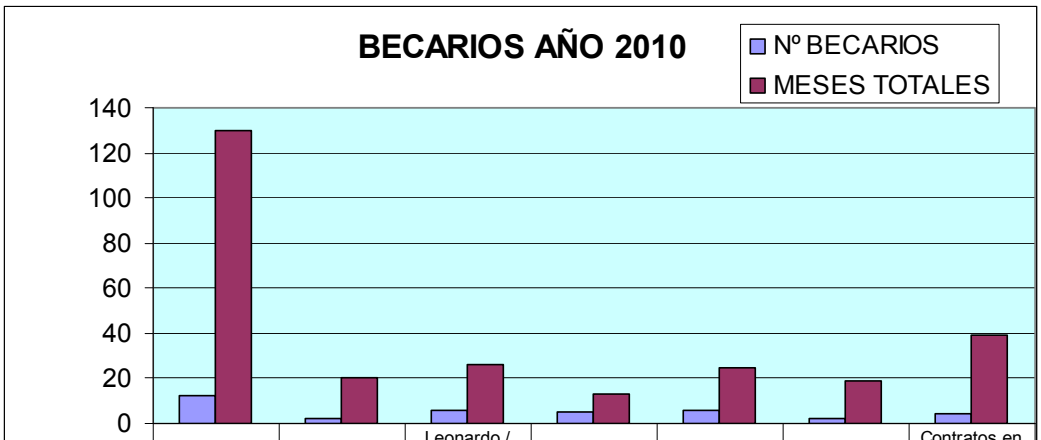
1.5 Actividades de Formación

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.

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



	Doctorandos	F.P.I.	Leonardo / Erasmus	F.P. II	Acuerdos	Inv. Externos	Contratos en Prácticas
Nº BECARIOS	12	2	6	5	6	2	4
MESES TOTALES	130	20,5	26	13	25	19	39

Figura 1.5. Becarios año 2010

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.

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 7 a 9 de junio tuvo lugar la sexta edición de este seminario, organizado en esa ocasión por el laboratorio PROMES-CNRS, en Font Romeu (Francia).

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.

La actividad durante el año 2010 ha sido algo menor, con 21 investigadores disfrutando de libre acceso durante un total de 57 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

1.6.2 Acceso Internacional: Proyecto SFERA

SFERA es el acrónimo de 'Solar Facilities for the European Research Area'.

Se trata de una 'Integrating Activity' dentro del programa 'CAPACIDADES' del 7PM.

Es un proyecto a cuatro años, con fecha oficial de inicio 1 de Julio de 2009.

El CIEMAT coordina a un total de 12 socios y administra una subvención de la Comisión Europea por un valor de 7,4 M€.

Entre otros, el proyecto pretende avanzar hacia la creación del 'gran laboratorio solar europeo', para ello cuenta con la participación de todos los principales institutos trabajando en la tecnología CSP en Europa:

- CIEMAT
- CNRS (Laboratorio PROMES, Francia)
- DLR (Instituto de Termodinámica Técnica, Alemania)
- ETH (Escuela Politécnica Federal de Zürich, Suiza)
- Paul Scherrer Institut (Villigen, Suiza)
- ENEA (Casaccia, Italia)
- Weizmann Institute (Rehovot, Israel)

El objetivo principal del proyecto es integrar, coordinar y promover la colaboración científica entre las principales instituciones de investigación europeas que trabajan en el campo de la tecnología solar de concentración, con especial énfasis en aquellas que poseen grandes infraestructuras experimentales en dicha tecnología.

Igualmente se pretende promover una oferta de libre acceso a dichas infraestructuras, enfocada a la comunidad científica y a la industria europea.

Figura 1.6. http://sfera.sollab.eu

El proyecto está estructurado en tres grandes bloques:

Networking: Son actividades orientadas a la creación de una colaboración estable a largo plazo entre los socios del proyecto. Se pretende avanzar hacia un uso compartido de los recursos, tanto materiales como humanos. Desarrollar estándares comunes y colaborar de manera unificada, tanto con la industria como con el entorno académico y de investigación en Europa. Algunas actividades concretas serían: organización de cursillos, workshops, estancias cortas de personal científico inter-centros…

Actividades conjuntas de investigación: Se trata de llevar a cabo acciones conjuntas de I+D encaminadas a mejorar las capacidades de ensayo de las infraestructuras disponibles para experimentación. De ese modo se podrá ofrecer un mejor servicio a la comunidad científica y también a la industria, optimizando el uso de los recursos de I+D disponibles a nivel europeo.

Acceso: En este proyecto participan todos los institutos europeos que disponen de infraestructuras de ensayo relevantes dentro del campo de la tecnología solar de concentración. Mediante esta actividad se promueve el poner a disposición de la comunidad científica europea dichas instalaciones. Esto se lleva a cabo mediante un mecanismo de convocatorias competitivas donde un comité de expertos independientes valora la calidad científica y la viabilidad de las propuestas recibidas, otorgando el derecho a recibir acceso de manera gratuita a la instalación de ensayo solicitada a los grupos que presenten propuestas más meritorias desde el punto de vista científico.

Cinco de los socios ofrecen acceso a usuarios de otros países a través de este esquema de financiación: ENEA, PROMES, WEIZMANN, PSI y PSA.

Este acceso se gestiona de forma conjunta, mediante una convocatoria anual y con la colaboración de un comité internacional de expertos que realiza la selección entre todas las propuestas recibidas.

Durante el año 2010, 5 grupos de usuarios externos procedentes de otros países han utilizado la instalación de destoxificación solar de la PSA durante un total de 20 semanas.

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.

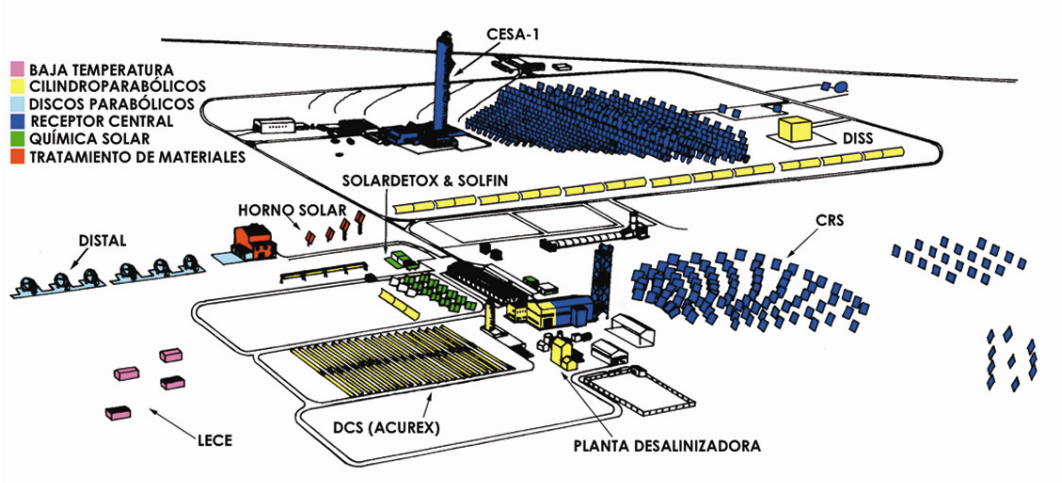


Figura 2.1. Ubicación de las principales instalaciones de ensayo de la PSA

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 MW_t, respectivamente.
- El sistema de colectores cilindro-parabólicos SSPS-DCS de 1,2 MW_t, 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 sistema 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 kW_t para procesos de tratamiento térmico de materiales.
- Una instalación múltiple para aplicaciones de destoxificación solar, compuesta de un lazo de colectores cilindro-parabólicos con seguimiento en dos ejes y tres lazos de fotorreactores tipo CPC, para la realización de diferentes tipos de ensayos.
- El Laboratorio de Ensayo Energético de Componentes de la Edificación (LECE).
- El edificio ARFRISOL, parte integrante del 'Proyecto Singular Estratégico' del mismo nombre, y que es un contenedor-demostrador de las más avanzadas tecnologías para el ahorro y la eficiencia energética en la edificación.
- Una estación meteorológica integrada en la 'Baseline Surface Radiation Network' (BSRN)

2.2 Instalaciones de Receptor Central: CESA-1 y CRS

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

2.2.1 La instalación CESA-I de 7 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 em-

presa 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 receptor, 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.

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

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 fue 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 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

Figura 2.3. Un helióstato autónomo del campo CRS

Figura 2.4. Vista aerea del sistema CRS.

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 caracterización 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. 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 FRESDEMO y CAPSOL

La PSA cuenta actualmente con un conjunto de instalaciones con concentradores de foco lineal, tanto captadores solares cilindroparabólicos como un concentrador lineal Fresnel. Muchas de estas instalaciones experimentales son únicas en el mundo, como el lazo de ensayos para fluidos innovadores o la planta DISS, y colocan a la PSA en una posición privilegiada para la investigación y el desarrollo de nuevas aplicaciones para los concentradores de foco lineal.

A continuación de explican, de forma resumida, las características principales de todas estas instalaciones.

2.3.1 El lazo de ensayos HTF

El lazo de ensayo HTF fue instalado en el año 1997, partiendo de un captador cilindroparabólico del tipo LS-3 que posteriormente fue desmantelado, y constituye una instalación idónea para evaluar, en condiciones reales de operación con energía solar concentrada, componentes para instalaciones con captadores cilindroparabólicos. La instalación cuenta con dispositivos de me-

dida y monitorización adecuados para la evaluación de los siguientes componentes:

- Espejos para captadores cilindroparabólicos.
- Tubos absorbedores para captadores cilindroparabólicos.
- Prototipos de captadores cilindroparabólicos (hasta 75 m de longitud).
- Nuevos prototipos de interconexiones para captadores cilindroparabólicos.
- Sistemas de seguimiento solar.

La instalación consta de un circuito cerrado de aceite térmico conectado a un medio captador cilindroparabólico modelo EuroTrough-II, con una superficie total de captación solar de 274 m^2, y con conexiones para dos captadores más de una longitud máxima de 75 m, todos orientados Este-Oeste, lo que permite aumentar el número de horas al año en las que el ángulo de incidencia de la radiación solar es menor de 5º. 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 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 1 m^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 L por segundo.
- Calentador de aceite, de 40 kW, 3 x 380 V.

El captador original tipo LS-3 fue sustituido por el primer prototipo de captador EUROTrough-II, que fue desarrollado por un consorcio europeo con la ayuda financiera de la Comisión Europea. En el ámbito de este proyecto se diseñó, se construyo, se instaló en la PSA y se evalúo bajo condiciones reales de operación el nuevo captador cilindroparabólico, apto no solo para plantas

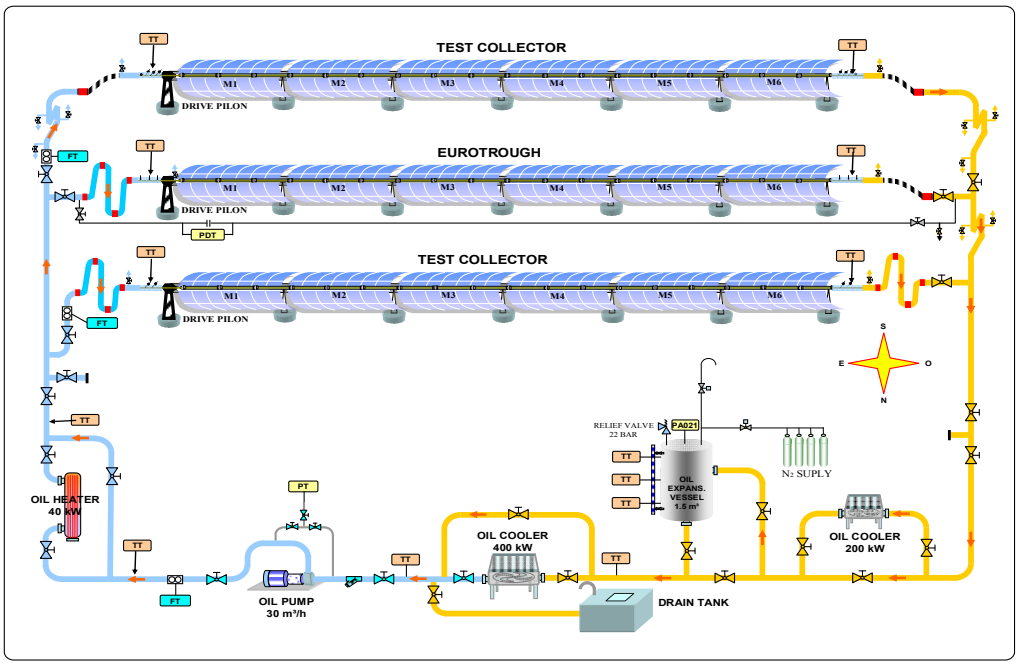


Figura 2.5. Esquema de la instalación de ensayo de captadores solares cilindroparabólicos "Lazo HTF".

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 cilindroparabólicos que actualmente existen en la PSA. Este captador se utiliza en la actualidad para la evaluación de nuevos tubos absorbedores.

2.3.2 La planta experimental DISS

La planta DISS fue 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 captadores solares cilindroparabólicos. Fue 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 este tipo de concentradores solares.

La instalación consta de dos subsistemas: el Campo Solar y el Sistema de Potencia (BOP). En el Campo Solar, el agua de alimentación se precalienta, evapora y convierte en vapor sobrecalentado hasta una presión máxima de 100 bar y una temperatura máxima de 400ºC conforme circula por los tubos absorbedores de un lazo de captadores cilindroparabólicos de 700 m de longitud y 3838 m^2 aprox. de superficie de captación solar. El caudal nominal de vapor sobrecalentado que se puede generar en el sistema es de 1 kg/s aproximadamente. En el Sistema de Potencia este vapor sobrecalentado se condensa, procesa y se utiliza de nuevo como agua de alimentación para el Campo Solar (funcionamiento en ciclo cerrado).

La planta en su conjunto posee un alto grado de flexibilidad de operación,

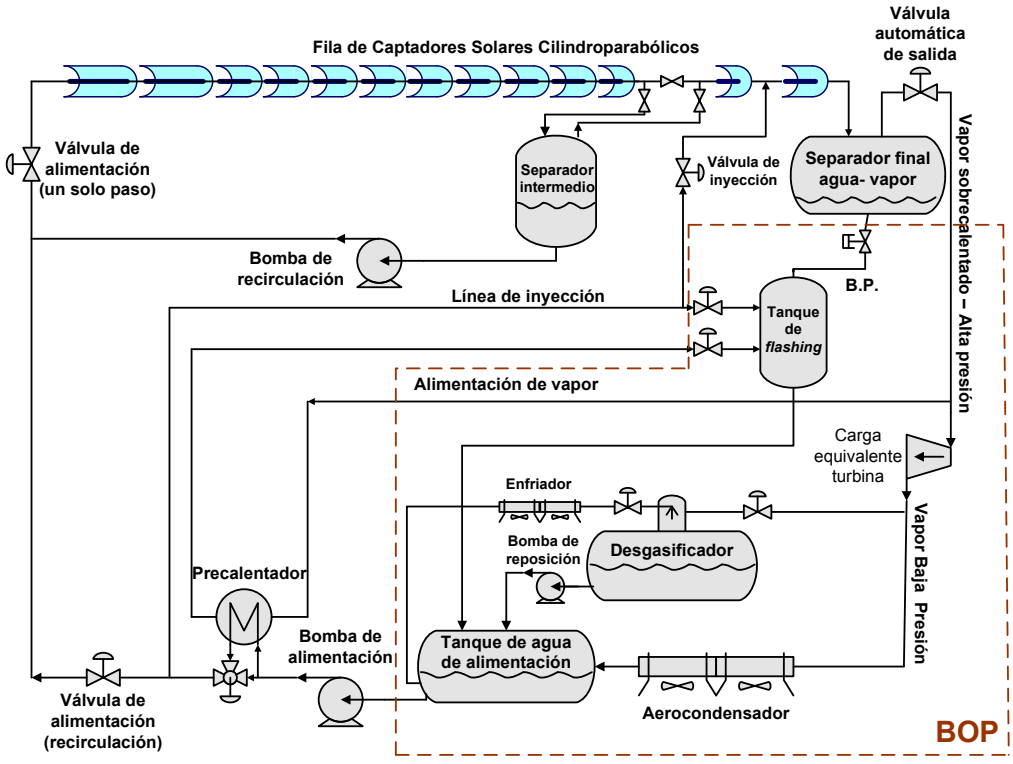


Figura 2.6. Esquema simplificado del lazo DISS existente en la PSA

Figura 2.7. Lazo DISS en operación

permitiendo operar el sistema desde muy bajas presiones hasta 100 bar. Además está equipada con un completo sistema de válvulas que permite la configuración del Campo Solar en modo recirculación (zonas de evaporación y sobrecalentamiento perfectamente diferenciadas) y en modo *Once Through* (el separador intermedio de agua-vapor y la bomba de recirculación situados en el Campo Solar no se utilizan en este modo de funcionamiento). La instalación se completa con una amplia gama de instrumentos que permiten una total monitorización del sistema (caudales y temperaturas de fluido en las distintas zonas de Campo Solar, pérdidas de carga en los captadores y en las interconexiones, temperatura y gradiente térmico en las secciones transversales de los tubos absorbedores, etc.) y un sistema de adquisición de datos y control de proceso que dispone de una base de datos donde se registran todos los datos de proceso cada 5 s durante las 24 horas.

Entre las capacidades asociadas a esta instalación se encuentran las siguientes:

- ensayo de componentes para campos solares de captadores solares cilindroparabólicos con generación directa de vapor en sus tubos receptores (receptores, juntas de unión, separadores para agua-vapor, instrumentación específica, etc.).
- estudio y desarrollo de esquemas de control para campos solares que funcionan con generación directa de vapor
- estudio y optimización de los procedimientos de operación que deben implementarse en este tipo de campos solares
- estudio de los coeficientes de transferencia de calor en tubos horizontales por cuyo interior circula un flujo bifásico agua/vapor
- estudio de correlaciones para el cálculo de la pérdida de carga con flujo bifásico agua/vapor en tuberías horizontales

2.3.3 Lazo de ensayos de gases presurizados en captadores cilindroparabólicos

El objetivo de esta instalación experimental es el estudio de gases a presión como fluidos de trabajo en captadores cilindroparabólicos, que no se

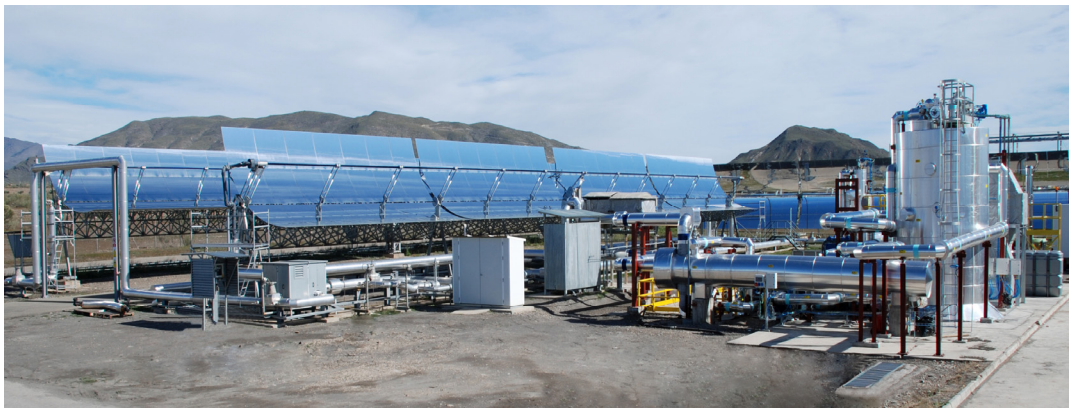


Figura 2.8. Vista del lazo de ensayos de gases presurizados en captadores cilindroparabólicos acoplado a un sistema de almacenamiento térmico con sales fundidas

hayan estudiado hasta el momento, evaluando su comportamiento bajo diversas condiciones reales de operación.

El lazo experimental de ensayos se encuentra situado al norte del edificio de control del lazo DISS, albergando los equipos necesarios para su control y adquisición de datos.

La instalación se diseñó inicialmente para trabajar a presiones y temperaturas de hasta 100 bar y 400ºC, constando de los siguientes elementos:

- Dos captadores cilindroparabólicos de tipo Eurotrough II orientados Este-Oeste, con una superficie total de captación por colector de 274,2 m^2 y una longitud de 50 m cada uno. El circuito permitía ensayos en serie o paralelo a través de un by-pass entre ambos colectores..
- Un enfriador refrigerado por aire, de 400 kW de potencia nominal, capaz de disipar la energía térmica que proporciona al fluido los captadores, 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 captadores.

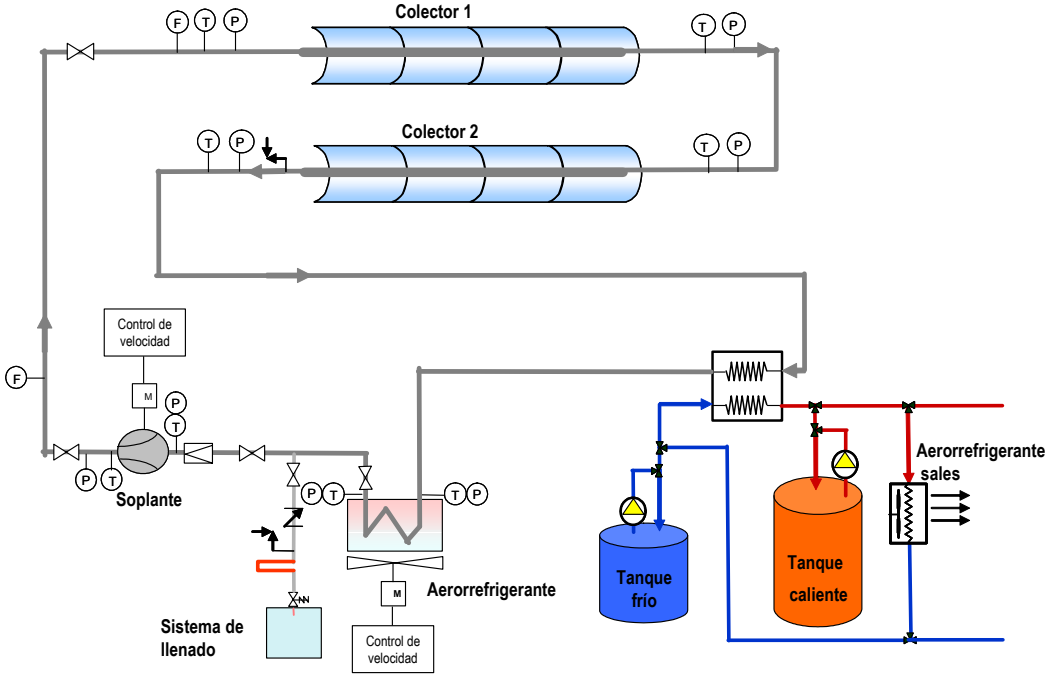


Figura 2.9. Esquema simplificado del lazo de alta temperatura con almacenamiento de sales

- 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 auxiliar que permite el llenado con gases del lazo de ensayo.

Los captadores 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.

Una vez completadas con éxito las pruebas a 400 ºC a finales del 2009, se decidió modificar el lazo de ensayos para probar fluidos hasta 500 ºC, así como integrar con el lazo un sistema de almacenamiento térmico de sales fundidas, con objeto de probar la capacidad conjunta de captación y almacenamiento de energía térmica de origen solar a alta temperatura, con vistas a su aprovechamiento en ciclos térmicos gestionables de alto rendimiento de conversión.

Este incremento de las condiciones de diseño del lazo para ensayos hasta 100 bar y 500ºC ha necesitado de las siguientes modificaciones:

- Sustitución de los tubos absorbedores convencionales del captador 2 por unos tubos avanzados de alta temperatura.
- Cambio del material de la tubería principal del circuito desde la salida del captador 2 hasta la salida del aerorrefrigerador. Igualmente, modificación del haz tubular de este último.
- Modificación del trazado del lazo de ensayos para operar los dos captadores cilindroparabólicos sólo en modo serie, eliminándose el by-pass y las válvulas automáticas de regulación de caudal.

El sistema de almacenamiento térmico de sales fundidas, que forma parte de un circuito experimental de sales más amplio, está provisto básicamente de:

- Dos tanques de sales, caliente y frío, con una capacidad cada uno de 39 toneladas y capaces de proporcionar unas 6 horas de almacenamiento térmico.
- Un aerorrefrigerante de 344 kW para enfriar las sales con aire ambiente.
- Un intercambiador gas-sales de 344 kW que aporta al circuito de sales la energía solar captada en el lazo de ensayos de fluidos innovadores.

El lazo de ensayos para alta temperatura se ha puesto en marcha a finales del 2010 y el sistema de almacenamiento de sales asociado estará en funcionamiento a lo largo de 2011.

2.3.4 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 dis-

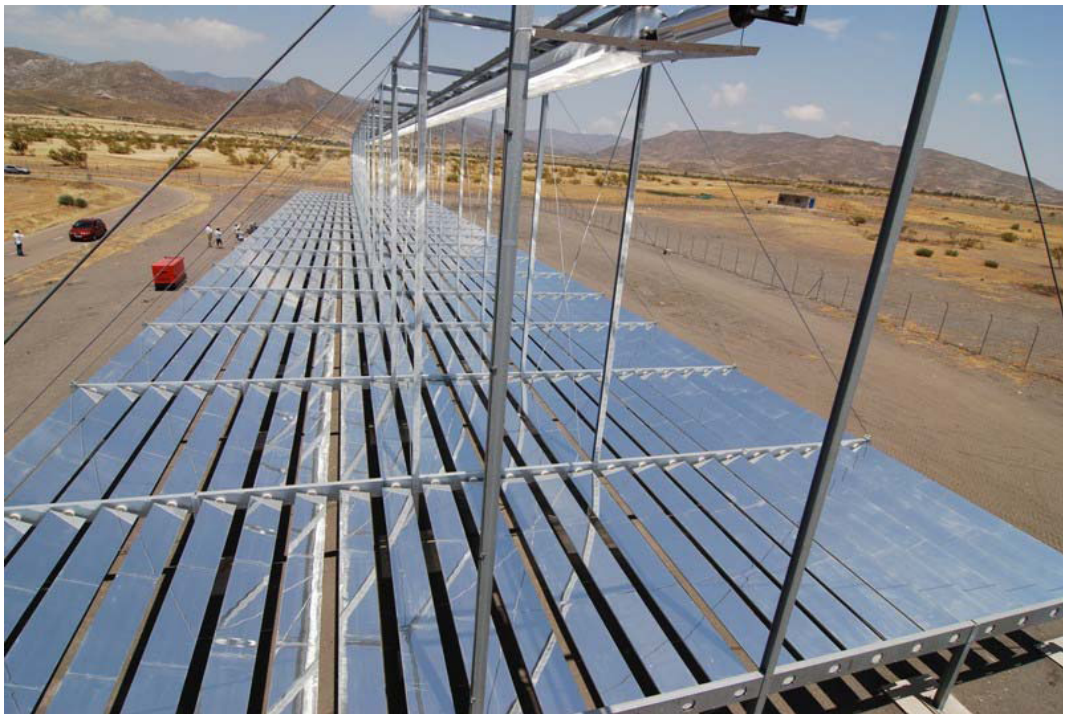


Figura 2.10. Foto del captador lineal Fresnel FRESDEMO, instalado en la Plataforma Solar de Almería (PSA).

tribuye 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.

2.3.5 Instalación CAPSOL

La instalación CAPSOL es una instalación de ensayos de energía solar térmica de concentración que ha sido diseñada y construida en la PSA para llevar a cabo ensayos de captadores solares cilindroparabólicos de pequeño tamaño, con una elevada precisión y bajo condiciones ambientales reales.

La instalación está diseñada para operar con agua a presión en un amplio rango de condiciones de operación: temperaturas de fluido desde ambiente hasta 230ºC, caudales desde 0,3 hasta 2,0 m^3/h y presiones hasta 25 bar. Además, permite el ensayo de diferentes orientaciones de captadores y tamaños de los mismos (anchos de apertura hasta 3 m). Se ha instalado instrumentación de alta precisión para la medida de todos los parámetros requeridos para la adecuada evaluación de captadores cilindroparabólicos. En particular, la instalación incorpora un caudalímetro (de tipo Coriolis, fabricado por *Yokowaga*, con una precisión de ±0,1% respecto al valor medido), un pirheliómetro (fabricado por *Eppley Co*., con una sensibilidad de 8 $\mu V/(Wm^{-2})$), y dos tipos de sensores de temperatura a la entrada y salida del campo solar (termorresistencias Pt-100 de cuatro hilos con una precisión de ±0,3 ºC en el rango de temperaturas entre 150 y 200ºC, y termopares tipo T con una precisión de ±0,3ºC a ±0,7ºC en el rango de temperaturas entre 100 y 200ºC). Además de estos instrumentos, la instalación dispone de sensores para la

medida de otros parámetros, como temperatura del fluido en varios puntos del circuito, presión, nivel del depósito, temperatura ambiente, velocidad y dirección de viento, etc.

La Figura 2.11 siguiente muestra una fotografía de la instalación de ensayos, con dos prototipos del captador CAPSOL-02 instalados, prototipos desarrollados en el ámbito del proyecto CAPSOL financiado por el MICINN (CIT-440000-2008-5).

Figura 2.11. Instalación de ensayos solares térmicos CAPSOL, para captadores solares cilindroparabólicos de pequeño tamaño

Esta instalación de ensayos permite la obtención de los parámetros de eficiencia requeridos para la caracterización de un captador cilindroparabólico: eficiencia óptica-geométrica pico, modificador por ángulo de incidencia, eficiencia global y pérdidas térmicas con los captadores desenfocados. Las condiciones de estado estacionario que se necesitan para la correcta realización de estos ensayos se alcanzan gracias a la inercia del depósito de expansión y a los sistemas auxiliares de calefacción y refrigeración. El sistema de adquisición y control de datos incorporado facilita la monitorización y grabación de los parámetros medidos, así como la operación del sistema desde la sala de control.

En esta instalación es posible ensayar tanto captadores solares cilindroparabólicos de pequeño tamaño completos, como componentes individuales de los mismos, tales como tubos absorbedores, reflectores o sistemas de seguimiento. Además, la instalación permite los análisis de aspectos técnicos de los captadores en condiciones reales de operación, tales como la durabilidad de los materiales, la resistencia estructural, el ensamblaje de componentes, etc.

2.4 Sistemas Disco-Stirling: DISTAL y EURODISH

2.4.1 Fundamentos

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

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

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

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

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

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

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

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

2.4.2 DISTAL I

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

El prototipo de concentrador se construyó aplicando la tecnología de membrana tensionada, la cual mantiene la forma parabólica mediante una pequeña bomba de vacío. Su reflectividad es del 94% y es capaz de concentrar la luz solar hasta 12.000 veces en el centro de su foco de 12 cm de diámetro. Su distancia focal es de 4,5 metros y el sistema de seguimiento es polar.

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

Figura 2.12. Un sistema DISTAL I en operación en la Plataforma Solar de Almería

2.4.3 DISTAL II

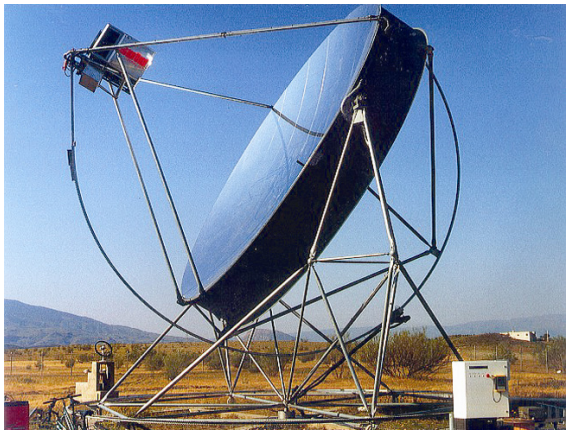


Figura 2.13. Unidad DISTAL II

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

Estos prototipos tienen un diámetro ligeramente mayor, 8,5 m, con lo que la energía térmica aportada al motor es de 50 kW_t. Su distancia focal es de 4,1 m y el valor máximo de concentración es de 16.000 soles en 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.

2.4.4 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 2.14. Eurodish vista desde delante y detrás

2.5 El Horno Solar

2.5.1 Descripción General y Principio de Funcionamiento

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

Su campo de aplicación comprende principalmente los ensayos de materiales, tanto en condiciones ambientales como en atmósferas controladas o 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.

La PSA cuenta en la actualidad con un conjunto de tres Hornos Solares, denominados SF-60, SF-5 y SF-40. El horno SF-60 se encuentra totalmente operativo, mientras que el SF-40 y el SF-5 lo estarán a lo largo del año2011. A continuación se describen estos tres hornos solares.

2.5.2 Horno Solar SF-60

En este horno, el helióstato capta la radiación solar y la envía hacia el concentrador. El helióstato está formado 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.

Figura 2.15. Vista exterior del SF-60 en operación.

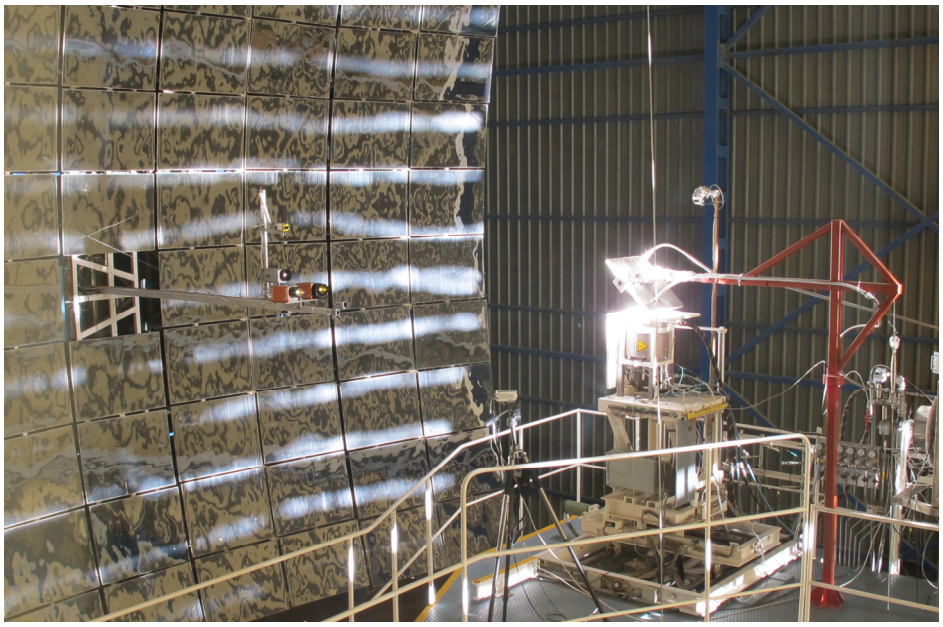


Figura 2.16. Vista interior del Horno Solar SF-60 en operación.

El único helióstato asociado al SF-60, el Solucar 120, consta de 28 facetas planas de 120 m^2 de superficie total y una reflectividad del 92%.

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.

El concentrador del SF-60 de la PSA 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.

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 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: 300 W/cm^2, potencia total: 69 kW y diámetro del foco: 26 cm [Monterreal, R.. Preliminar Analysis of Irradiance Distribution Shutter-100%. PSA internal document, 2005]

2.5.3 Nuevas Infraestructuras de Hornos Solares: los Hornos SF-40 y SF-5

Durante 2010 se ha avanzado en la construcción de dos nuevas instalaciones de hornos solares que estarán operativas a lo largo del próximo año: el SF-40 y el SF-5. El Horno Solar de eje horizontal, SF-40, está en fase de construcción a falta de instalar el heliostato, y el Horno Solar de eje vertical, SF-5, tiene todos sus componentes principales instalados y se encuentra en la fase de puesta en marcha.

La construcción de estos dos nuevos hornos solares, prácticamente triplicará en un futuro la capacidad de ensayos del Horno Solar, aunque las características específicas de cada uno de ellos harán que se especialicen para distintas aplicaciones como el tratamiento superficial de materiales con altas concentraciones fotónicas o la investigación de aplicaciones industriales de alta temperatura. A continuación se dan algunos datos técnicos más de estos dos hornos solares

El nuevo Horno Solar denominado SF-40 por su potencia de 40 KW, consta básicamente de un concentrador Eurodish de 8,5 m de diámetro, con una distancia focal de 4,5 m. La superficie del concentrador se ha obtenido mediante la unión de 12 pétalos o sectores de fibra de vidrio curvada que van recubiertos con espejos adhesivos de 0,8 mm de sección en su cara frontal. El paraboloide así conformado va fijado en su parte posterior a una estructura espacial en anillo que le da rigidez y lo mantiene en posición vertical.

En el centro de la sala de ensayos del horno SF-40, frente el concentrador en su zona focal, se encuentra la mesa de ensayos, que tiene movimiento en tres ejes y está compuesta de tres módulos lineales con carreras operativas de 1000 mm en eje X; 700 mm en eje Y, y 600 mm en eje Z, y es capaz de desplazar una carga de 150 Kg. En la fachada norte de la sala de ensayos, a modo de persiana, se encuentra el atenuador de lamas, que tiene unas dimensiones de 11 m x 11 m aproximadamente, y regula la cantidad de luz incidente en el concentrador. Finalmente, para completar la instalación, falta el helióstato plano de 100 m^2 de superficie de reflexión que está en fase de construcción.

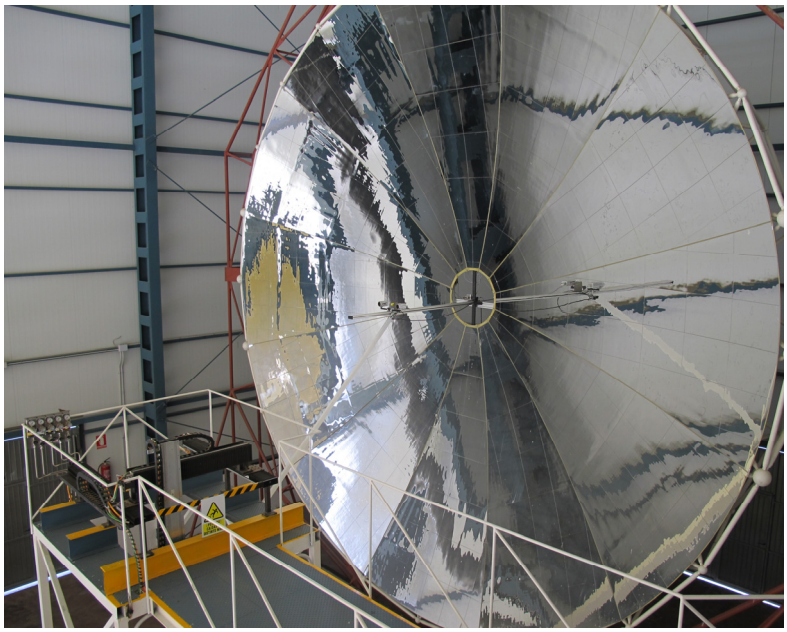


Figura 2.17. Interior del Horno Solar SF40 que se encuentra en su fase final de construcción.

El Horno Solar SF-5 es un nuevo horno solar de eje vertical que ha sido diseñado y construido en la Plataforma Solar de Almería. Este nuevo horno ha sido concebido para la realización de ensayos que requieren altos flujos radiantes, fuertes gradientes y muy altas temperaturas de ensayo.

Este nuevo Horno Solar está situado en la pared sur del Horno Solar SF-60, y consiste básicamente en un concentrador, colocado en posición invertida –superficie de reflexión orientada hacia el suelo- sobre una torre metálica de 18 m de altura; en el centro de la base de la torre se encuentra un heliostato plano, cuyo centro de giro está alineado con el eje óptico del concentrador.

En la parte alta de la torre del horno SF-5, dentro de la sala de ensayos y 2 m por debajo del vértice del concentrador, está la mesa de ensayos. Finalmente, y a modo de "suelo" de la sala de ensayos, tenemos el atenuador de lamas colocado en posición horizontal, que está situado entre el heliostato y el concentrador, y completa los componentes principales del horno solar de eje vertical. Esta instalación se encuentra en la fase final de puesta en marcha.

Figura 2.18. Vista exterior del Horno Solar SF-5, que se encuentra en su fase final de puesta en marcha.

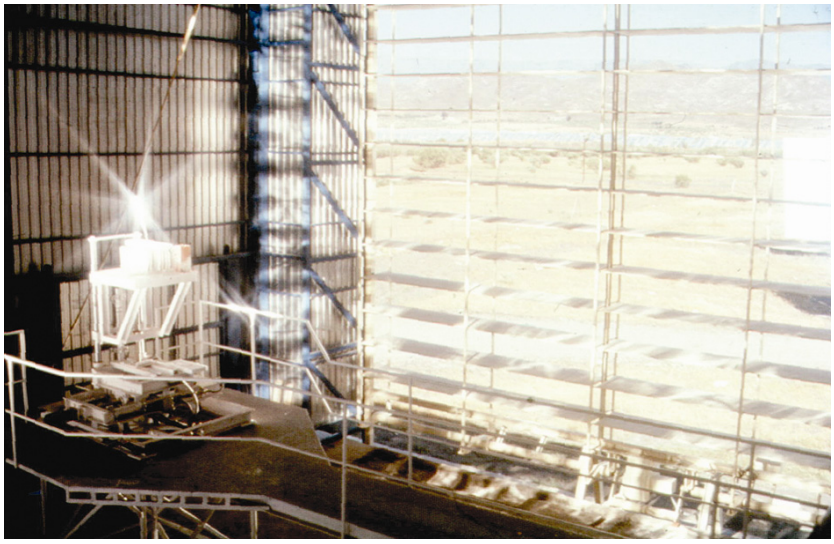


Figura 2.19. El foco y la mesa de ensayos, a la izquierda de la foto. A la derecha, el atenuador totalmente abierto permite el paso de los rayos procedentes de los helióstatos, situados en el exterior

2.6 Laboratorios de la Unidad de Sistemas Solares de Concentración

2.6.1 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:

- **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 **320 g**/min 10 mg
- **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

Figura 2.20. Vista del Laboratorio de Materiales de la PSA

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

2.6.2 Laboratorio de recubrimientos selectivos para receptores

El laboratorio de recubrimientos selectivos para receptores solares cuenta con el equipamiento necesario para el desarrollo y estudio completo de nuevos recubrimientos selectivos tanto para materiales absorbedores que se utilizan en los sistemas de concentración solar, a media y alta temperatura (hasta 600ºC), así como para tratamientos anti-reflexivos para cubiertas de vidrio que se utilizan en determinados diseños de receptor, como es el caso de tubos receptores para captadores cilindroparabólicos.

El laboratorio cuenta con equipamiento suficiente para caracterizar y evaluar los desarrollos de recubrimientos que el CIEMAT realiza, así como para evaluar el comportamiento de otros tratamientos disponibles en el mercado o desarrollados por otras instituciones públicas o privadas. El equipamiento también se utiliza para la caracterización óptica de reflectores solares. Un resumen del equipamiento disponible se detalla a continuación.

Espectrofotómetro Perkin Elmer modelo LAMBDA 950

Las especificaciones generales del espectrofotómetro:

- Espectrofotómetro de doble haz con rango de medida entre 175 y 3300 nm.
- Fuentes de luz de haluro de tungsteno y deuterio con cambio automático.
- Monocromador de red holográfica recubierta de sílice.
- Detector fotomultiplicador R6872 para el UV/VIS y de PbS controlado por peltier para el NIR.
- Compartimiento de muestras de gran capacidad (200x300x220 mm).
- Programa de control externo del espectrofotómetro mediante PC con el software completo requerido.

El equipo cuenta con los siguientes accesorios:

- Accesorio universal de reflectancia (URA) para el rango UV/VIS y NIR que permite la medida automática de la reflectancia absoluta a diferentes ángulos.
- Esfera integradora de 150 mm de diámetro, recubierta de Spectralon, para medida de la reflectancia con un ángulo de incidencia de 8º y la transmitancia a 0º.

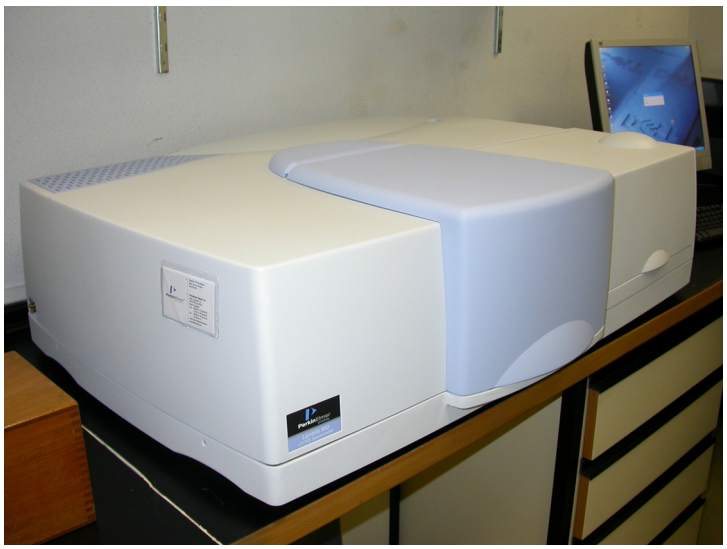


Figura 2.21. . Espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 950

- Cubeta de medida para el compartimiento de muestras.
- Accesorio de reflectancia y transmitancia direccional.

Este equipo permite la medida de:
- Reflectancia hemisférica de muestras especulares o difusas entre 250 y 2500 nm.
- Reflectancia especular en función del ángulo de incidencia entre 250 y 2500 nm.
- Transmitancia directa en función del ángulo de incidencia entre 250 y 2500 nm.

Con estas medidas es posible calcular la absorptancia solar de los absorbentes selectivos, la reflectancia especular de reflectores solares y la transmitancia solar de las cubiertas de vidrio de los captadores solares.

Espectrofotómetro Nicolet Magna IR

Especificaciones generales del espectrofotómetro:
- Resolución mayor de 0,1 cm^{-1}.
- Fuente láser y detectores prealineados.
- Rango de medida de 400 a 4000 cm-1.
- Óptica de KBr.
- Compartimiento de muestras de gran capacidad (200x300x200 mm).
- Excelente relación señal-ruido
- Programa de control externo del espectrofotómetro mediante PC con el software completo requerido.

El equipo cuenta con los siguientes accesorios:
- Accesorio de reflectancia especular con un ángulo de incidencia de 8º.
- Esfera integradora de 100 mm de diámetro, recubierta de Infragold, para medida de la reflectancia hemisférica.
- Accesorio para la medida de la transmitancia directa.

Este equipo permite la medida de la reflectancia hemisférica de muestras planas y tubos de receptores para captadores cilindroparabólicos, para el cálculo de la emisividad térmica.

Figura 2.22. Espectrofotómetro FTIR Magna IR

Equipo portátil de caracterización de absorbentes Optosol

Este equipo permite la medida de la absorptancia solar y la emitancia térmica a 70ºC de absorbentes selectivos, tanto en sustratos planos, como en tubos absorbedores.

Figura 2.23. Esfera integradora del Optosol para la medida de la absorptancia solar

Figura 2.24. Accesorio de medida de la emisividad térmica a 70ºC

El dispositivo para medir la absorptancia cuenta con una esfera integradora con dos detectores: uno de silicio con respuesta hasta 1,2 µm y uno de germanio con resolución de 1,2 µm a 1,9 µm. como fuente de iluminación cuenta con cuatro diodos led (azul, verde, rojo e IR) y una lámpara halógena.

Para la medida de la emisividad dispone de un túnel semicilíndrico que emite radiación infrarroja a 70ºC. El tubo a medir (diámetro máximo de 70 mm) se coloca axialmente y la radiación reflejada entre 8 y 14 micras es recogida por el detector.

También permite la medida de la transmitancia solar de las cubiertas de vidrio con el accesorio de medida de la absorptancia solar.

Este equipo tiene la ventaja de que permite la medida de muestras grandes, incluso tubos, de manera muy rápida y sencilla, lo que le hace muy útil para procesos de control de calidad. Presenta una incertidumbre en la medida de un 2%, pero se está llevando a cabo un estudio comparativo con medidas realizadas con el espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 950, para tratar de reducir este error.

Cámara climática QUV, Q-PANEL, para ensayos de envejecimiento acelerado.

Esta cámara permite hacer ensayos acelerados de durabilidad de materiales que trabajan a intemperie, simulando condiciones de radiación UV, humedad, temperatura y lluvia. Los efectos de la radiación solar se simulan a través de unas lámparas fluorescentes UV. (UVB-313). Estas lámparas incrementan al máximo la aceleración del envejecimiento utilizando la luz ultravioleta de onda corta, que es más

Figura 2.25. Cámara climática y detalle de los tubos de radiación UV-B

severa que la luz ultravioleta encontrada normalmente en la superficie terrestre. Por otro lado, el mecanismo de condensación reproduce el rocío, que es la causa principal de humedad en la exposición a la intemperie, así como condiciones de lluvia. La temperatura de exposición también se controla de forma automática (40ºC-80ºC), pudiendo alternar ciclos de radiación, pulverización y humedad con temperatura controlada. Esta cámara cumple las especificaciones que permiten realizar ensayos según un gran número de normas, como pueden ser; ASTM G154, ISO 4892-10, UNE 104-281-88, UNE-EN 1096-2. Las aplicaciones más usuales de esta cámara climática son: Recubrimientos, absorbentes solares, reflectores, pinturas, plásticos, adhesivos.

Viscosímetro BROOKFIELD LVDV-I+.

Este equipo permite la medida de la viscosidad cinemática de líquidos, con un rango de medida entre 1 y 200 cP.

La medida de la viscosidad se lleva a cabo mediante la determinación del par de torsión que es necesario para hacer girar un elemento sumergido en la muestra, mediante un rotor sincrónico con un resorte calibrado de Be-Cu.

La viscosidad de los líquidos depende de la temperatura, por lo que es necesario termostatizar el líquido cuya viscosidad se desea medir. El viscosímetro dispone de un cilindro en el que se coloca la muestra de líquido a medir y tiene una camisa exterior en la que se puede circular un fluido mantenido a temperatura constante con un baño termostático.

La resolución del equipo es de 0,01 cP y el error de medida es de (+/-) 0,01cP.

El equipo dispone del accesorio "UL Adapter" que permite la medida en líquidos de baja viscosidad (1-10cP), como las soluciones típicas empleadas en la técnica sol-gel.

Medidor de ángulo de contacto KSV modelo CAM200.

Con este instrumento se puede medir el ángulo de contacto y/o la tensión superficial para líquidos mediante el método óptico. El ángulo de contacto mide la capacidad de mojado de una superficie sólida por un liquido y es el ángulo formado por el plano tangente a la interfase líquido-gas y el plano formado por el sólido en un contacto trifásico sólido-líquido-gas, tal y como se indica en la figura. La forma de la gota es función de las tensiones superficiales de los tres medios que forman la interfase. El procedimiento de medida consiste en dejar caer una gota de liquido (normalmente agua) sobre la superficie sólida a medir y mediante un sistema óptico se obtiene una imagen de la gota. Mediante un software, que realiza un cálculo automático basado en las ecuaciones de Young & Laplace, se obtiene la medida del ángulo de contacto.

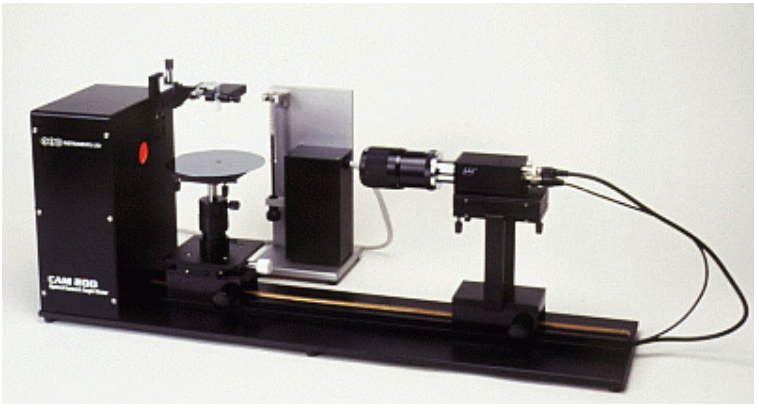


Figura 2.26. Medidor de ángulo de contacto

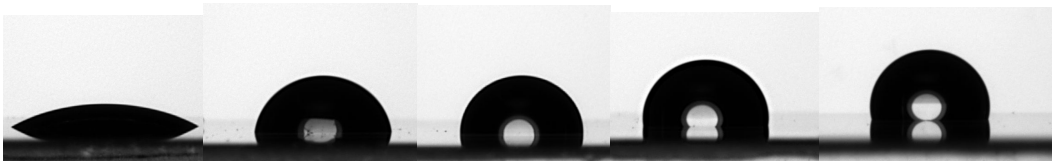


Figura 2.27. Imágenes de como varía el ángulo de contacto en función del carácter hidrófobo del sustrato.

Las aplicaciones de este equipo son: tratamientos superficiales, textiles recubrimientos, superficies autolimpiables.

Hornos

Se dispone de tres hornos para tratamientos térmicos:

- mufla de 120x100x300 mm con una temperatura máxima de 1200ºC.
- horno de atmósfera controlada con una temperatura máxima de 800ºC
- horno con ventilación forzada de 500x400x600 mm con una temperatura máxima de 550ºC.

2.6.3 Laboratorios de caracterización óptica y análisis de durabilidad de reflectores solares

Los laboratorios de caracterización óptica y análisis de durabilidad de reflectores solares cuentan con el equipamiento necesario para realizar estudios completos de los materiales usados como reflectores en los sistemas solares de concentración.

El laboratorio de caracterización óptica de reflectores solares permite determinar el valor de sus parámetros ópticos característicos y el posible nivel de deterioro de los mismos. Para ello, este laboratorio dispone de los siguientes equipos, tanto de medida cuantitativa de reflectancia como de análisis cualitativo de las superficies reflectantes:

- Dos reflectómetros especulares portátiles modelo 15R de Devices and Services, con medida de reflectancia especular a 660 nm en diferentes ángulos de apertura (7, 15, 25 y 46 mrad).
- Un prototipo de reflectómetro para medir la reflectancia especular en un área de 5 cm de diámetro y con una resolución espacial de 10 pixel/mm, que realiza medidas a varias longitudes de onda y con varios ángulos de apertura (modelo S^2R^2, diseñado y patentado por el DLR).
- Un espectrofotómetro modelo Lambda 1050 de Perkin Elmer, con accesorios de esfera integradora de 150 mm y de reflectancia especular con ángulos de incidencia de 0 a 68º (URA).
- Una cámara fotográfica Nikon D3 y un kit Cubalite de 90 cm, para fotografiar superficies especulares sin reflexiones parásitas.
- Un microscopio 3D modelo DCM3D de Leica (con aumentos de 5, 10, 20, 50 y 100) para la obtención de perfiles y rugosidades en superficies de elevada reflectancia.
- Una mesa óptica de elevadas prestaciones que permite el montaje de diferentes dispositivos ópticos para el desarrollo de nuevos instrumentos de medida.

El laboratorio de análisis de durabilidad de reflectores solares está capacitado para realizar ensayos de envejecimiento acelerado de dichos materiales, con objeto de predecir en un tiempo reducido el comportamiento de dichos materiales durante su vida útil. Para ello, se aplican de forma controlada, tanto por separado como en combinación, las variables ambientales que produ-

Figura 2.28. Laboratorio de caracterización óptica (izquierda) y de análisis de durabilidad (derecha) de reflectores solares de la PSA

cen el deterioro de los reflectores solares cuando son expuestos a intemperie. Los equipos de simulación instalados que permiten realizar estos ensayos de envejecimiento acelerado son los siguientes:

- Una cámara climática de temperatura (de -40 a +120ºC), humedad (de 10 a 90%), radiación solar (de 280 a 3000 nm) y lluvia, de 340 L, modelo SC340 de ATLAS.
- Una cámara de niebla salina de 500 litros y con temperaturas de 10 a 50ºC, modelo CSF 500A de Control Técnica.
- Una cámara de radiación ultravioleta, modelo UVA-Cube de Hönle.
- Una cámara de lluvia ácida de 300 L con temperaturas hasta 70ºC y humedad hasta 100%, modelo CKEST 300 de Ineltec.
- Una cámara de tormenta de arena con velocidades hasta 30 m/s y concentraciones hasta 2,5 g/m^3, fabricada por Control Técnica.
- Un dispositivo de abrasión por limpieza, modelo 494 de Erichsen, con varios accesorios de limpieza.
- Dos hornos de mufla, modelos LT 24/12 y LT 40/12 de Nabertherm.
- Varios dispositivos para aplicación de ciclos térmicos especialmente diseñados en la PSA.

Asimismo, junto al laboratorio se dispone de una serie de bancos de ensayo a intemperie para la exposición de materiales y la comparación de su degradación con la obtenida en los ensayos de envejecimiento acelerado.

Finalmente, los laboratorios están equipados con el material accesorio necesario para el correcto funcionamiento de los mismos, como son dos balanzas de precisión, un agitador magnético y térmico, un secador, herramientas de manipulación y corte de reflectores (tanto de primera como de segunda superficie), un medidor de pH, conductividad y oxígeno, etc.

2.6.4 Caracterización geométrica de reflectores y estructuras portantes

Los concentradores que se emplean en los sistemas termosolares (heliostatos, captadores cilindroparabólicos, discos parabólicos, lentes Fresnel, etc.) requieren de una gran precisión para que la concentración de la radiación solar sea la adecuada e incida en su gran mayoría en el elemento receptor (tubos receptores de captadores cilidnroparabólcios, receptores de sistemas de torre, etc.).

Para poder caracterizar geométricamente estos concentradores, la Plataforma Solar de Almería cuenta con un laboratorio en el que, mediante fotogrametría, se cuantifica la calidad óptica de:

- Facetas para captadores cilindroparabólicos.

- Módulos de captadores cilindroparabólicos.
- Facetas para heliostatos.
- Heliostatos.
- Lentes y reflectores Fresnel.
- Discos parabólicos.
- Estructuras portantes.
- ...

La fotogrametría consiste en el modelado tridimensional de cualquier objeto a partir de fotografías que captan al mismo desde diferentes ángulos de visión. A partir de estas fotografías se pueden calcular las coordenadas tridimensionales (x, y, z) de los puntos de interés del objeto que estamos modelando. Mediante el modelado con fotogrametría se pueden alcanzar precisiones que llegan a 1:50000 (precisiones del orden de 0,1 mm para facetas de captadores cilindroparabólicos y precisiones de 0,6-0,7 mm para módulos cilindroparabólicos de 12 m de longitud).

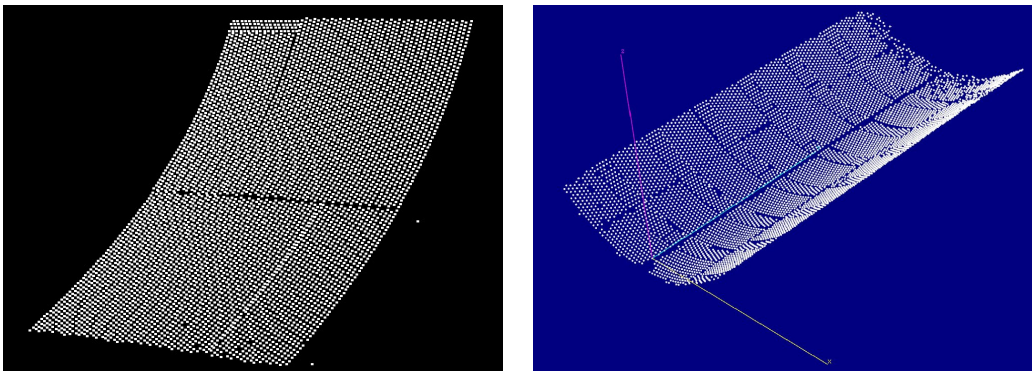


Figura 2.29. Modelos tridimensionales de una faceta (izquierda) y un módulo completo de captador cilindroparabólico (derecho) obtenidos mediante fotogrametría.

El equipamiento y recursos con los que actualmente cuenta la PSA para la realización de las medidas fotogramétricas consiste en:

- Cámara CANON EOS5D MarkII
- Objetivo CANON EF 20mm f/2,8 USM
- Software de fotogrametría Photomodeler Scanner V6.0.

Paquete de software de desarrollo propio en entorno MatLab para análisis del modelo y cálculo de parámetros relevantes para geometrías 2D y 3D.

Entre los parámetros que se pueden calcular a partir del modelo construido

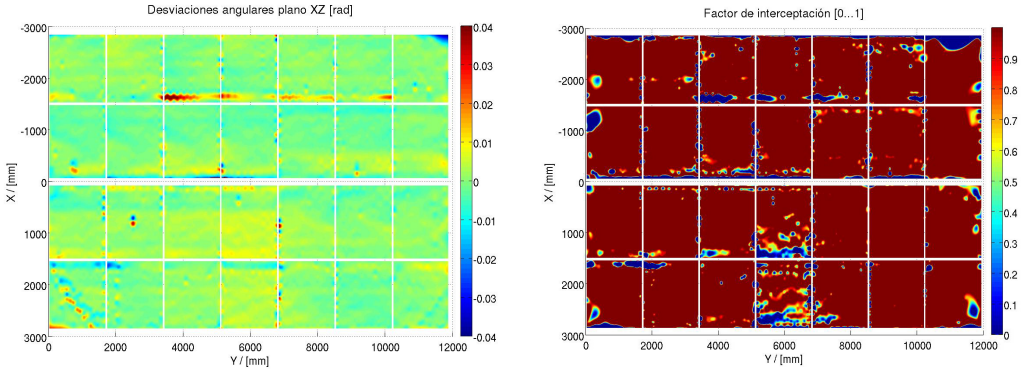


Figura 2.30. Desviaciones angulares (izquierda) y Factor de Interceptación de un módulo cilindroparabólico analizado mediante fotogrametría

mediante fotogrametría se encuentran los siguientes:

- Desviaciones en coordenadas x, y, z entre la superficie real y la teórica.
- Deformación gravitatoria entre distintas orientaciones del concentrador.
- Desviaciones angulares del vector normal a la superficie respecto del vector normal teórico.
- Desviación de los rayos reflejados en la superficie reflectante del módulo respecto del foco teórico del concentrador.
- Factor de interceptación.
- (Bajo petición se pueden calcular otros parámetros relevantes).

2.6.5 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 degrada-

Figura 2.31. Vista general de los discos parabólicos que forma parte del laboratorio de envejecimiento y durabilidad.

ción 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 temperatura, 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 empezó construir en 2009 con fondos procedentes del Plan 'E' y ha entrado en funcionamiento en el segundo semestre de 2010.
- 4 discos parabólicos, 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, 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.

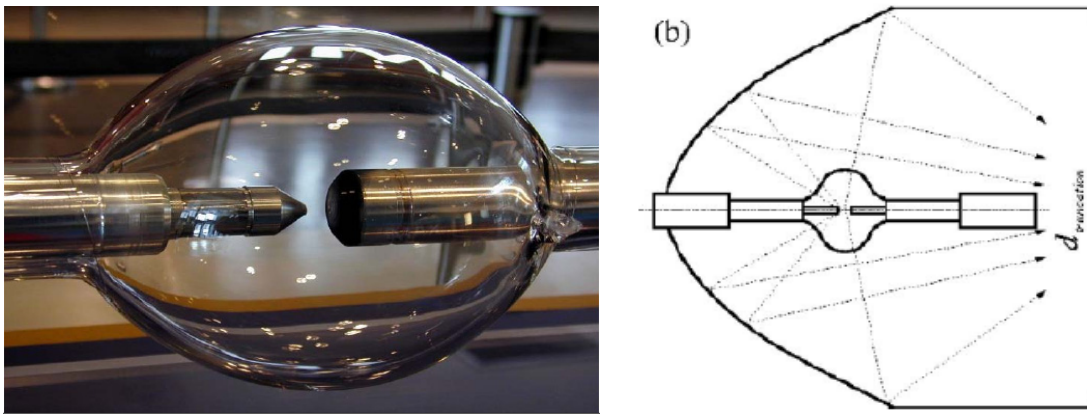


Figura 2.32. Lampara de xenon empleada en el simulador solar y configuración de lampara y concentrador.

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

Figura 2.33. Laboratorio de Radiometría.

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).

2.7 Instalaciones de Detoxificación y Desinfección Solar

En las instalaciones de detoxificación y desinfección solar se dispone de una serie de fotoreactores tipo CPC (captadores cilindroparabólico compuestos) a escala planta piloto y una captador tipo CCP (captador cilindroparabolico). Este último tiene una superficie de captación de 32 m^2 con seguimiento solar en dos ejes. El factor de concentración que se alcanza es de 10.5 soles. El tubo absorbedor es de vidrio borosilicatado de 56 mm de diámetro y 2 mm de espesor.

En cuanto a las plantas piloto que emplean CPCs, 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 (reformados en mayo de 2007) para realizar experiencias en paralelo. Cada uno de estos prototipos está formado por dos módulos de CPC que suman 3.08 m^2 de superficie iluminada (diámetro de tubo 30 mm) y presentan un volumen total de 40 L, de los cuales 22 L es el volumen irradiado. Esta instalación tiene la posibilidad de 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. Desde 2004 se 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 acoplado con él se ha instalado 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 este fotoreactor se encuentra también un sistema biológico de tratamiento de aguas que 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 biológico aerobio 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 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 solar 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 (FITOSOL) 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. 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 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 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.

Junto a estas instalaciones a escala planta piloto se encuentra un simulador solar con lámpara de xenon que permite hacer experimentos de detoxificación y desinfección de aguas a pequeña escala modificando las condiciones de intensidad de radiación.

Desde el punto de vista de instrumentación, 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.

Adicionalmente, durante el año 2010 y dentro de una de las actividades financiadas por el Fondo Especial del Estado para la Dinamización de la Economía y el Empleo (Plan-E), a través del Ministerio de Ciencia e Innovación, se llevó a cabo la adquisición y remodelación de instalaciones de ensayo e instrumental científico para el tratamiento solar de aguas (Proyecto SolarNova). En lo que respecta a las instalaciones de detoxificación solar de aguas, se llevó a cabo la remodelación de los sistemas auxiliares, conducciones e instrumentación correspondientes a los fotoreactores CPC conocidos como SOLEX y CADOX (anteriormente descritos) (Figura 2.34(a) y (b)). Además, se llevó a cabo la sustitución de los tanques que tradicionalmente se habían usado para la recepción y almacenamiento del agua destilada utilizada en los experimentos a escala planta piloto.

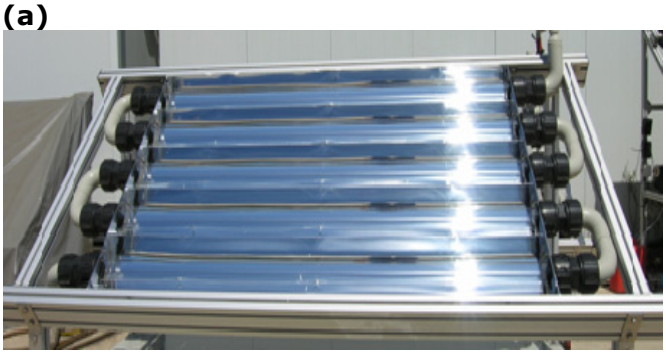
Finalmente, y dentro de esta actividad financiada por el Plan-E se llevó a cabo la adquisición de una serie de nuevas plantas piloto para la parte de desinfección solar de aguas:

(a) **(b)**

Figura 2.34. Imágenes de la remodelación llevada a cabo a las instalaciones auxiliares e instrumentación de los fotoreactores CPC: (a) SOLEX y (b) CADOX.

1. Dos fotoreactores tipo CPC (CPC25) para realizar experimentos de desinfección fotocatalítica (TiO_2 suspendido e inmovilizado) y foto-Fenton por duplicado con volúmenes totales de 25 a 7 litros. Cada uno de estos reactores solares está formados por cinco tubos y presenta una superficie total iluminada de 1 m^2, un volumen iluminado de 11,25 L y un volumen total de 25 L (Figura 2.35(a)).
2. Dos fotoreactores para operación en discontinuo tipo CPC (CPC-SODIS). Se trata de dos reactores estáticos completamente expuestos a la radiación solar, de 25L de volumen total. Cada uno de estos reactores consta de un gran espejo CPC de 0.58 m^2 de apertura, en cuyo foco se encuentra un tubo de vidrio de borosilicato de 20 cm de diámetro externo (Figura 2.35 (b)).
3. Un nuevo fotoreactor tipo CPC (FITOSOL 2) similar al instalado en 2008 conocido como FITOSOL y descrito anteriormente. Este captador tiene una capacidad total de tratamiento de 60 L y está formado por 20 tubos de borosilicato y un área iluminada de 4.5 m^2. Se usa para realizar ensayos de desinfección de aguas contaminadas con todo tipo de microorganismos con la finalidad de reutilización de aguas de salida de depuradora. Consta de un sistema de control de temperatura que permite trabajar a temperatura constante desde 20 hasta 55ºC. Tiene incorporados varios puntos de medida de oxígeno disuelto y de inyección de aire, para analizar los efectos que el oxígeno inyectado en línea tiene sobre los procesos fotocatalíticos de desinfección (Figura 2.35 (c)).

(a)



(b)

(c)

Figura 2.35. Imágenes de los nuevos fotoreactores tipo CPC instalados durante 2010 para aplicaciones de desinfección solar de aguas: (a) CPC25, (b) CPC-SODIS y (c) FOTOSOL 2.

Figura 2.36. Imágen actualizada de las instalaciones del grupo de detoxificación y desinfección solar de aguas de la PSA.

2.7.1 Laboratorio de Análisis de la PSA

Dentro también del proyecto SolarNova financiado por el Fondo Especial del Estado para la Dinamización de la Economía y el Empleo (Plan-E), a través del Ministerio de Ciencia e Innovación, se contempló la construcción del nuevo Laboratorio de Tecnologías del Agua de la PSA (Figura 2.37). Esta actividad englobaba la transformación de un antiguo edificio de oficinas en un edificio de laboratorios, entre los que se encuentra el nuevo laboratorio del grupo de detoxificación y desinfección de la PSA.

El nuevo laboratorio de tecnologías del agua de la PSA dispone de una superficie total de alrededor de 200 m^2 distribuida en 6 salas diferentes (Figura 2.37):

El laboratorio principal que ocupa una superficie de 94 m^2 (Figura 2.37). En este espacio se encuentran todos los dispositivos relacionados con un laboratorio de química convencional: tres isletas de trabajo, dos campanas extractoras de gases, una estufa, un horno mufla, un baño de ultrasonidos, dos centrífugas, dos espectofotómetros de UV-Por último, en la Figura 2.36 se presenta una vista panorámica actualizada de las instalaciones del grupo de detoxificación y desinfección solar de aguas de la PSA, una vez realzadas las remodelaciones anteriormente descritas e instaladas las nuevas plantas piloto adquiridas durante 2010.

1. visible, un sistema de destilación a vacío, un sistema de ultrapurificación de agua, medidor de pH y conductividad, mesa específica para balanzas de precisión. Además en este laboratorio se encuentran localizados los equipos de medida de toxicidad mediante *Vibrio fischeri* y respirometría con fangos activos, medida de biodegradabilidad mediante respirometría y demanda biológica de oxígeno y medida de la demanda química de oxígeno. Además se dispone de una central distri buidora de gases técnicos, un sistema de tensión segura y sistemas de seguridad (extintores, ducha, lavaojos etc.).
2. La sala de cromatografía con una superficie de 23 m^2 (Figura 2.38 (a)) y que contiene todos aquellos equipos analíticos relacionados con la Química Ambiental: dos cromatógrafos de líquidos (Bomba cuaternaria con detector de diodos e inyector automático, HPLC-DAD y UPLC-DAD), un cromatógrafo de gases con detector de espectrometría de masas con sistema de Purga y Trampa (análisis de volátiles disueltos

Figura 2.37. Vista general del nuevo laboratorio de tecnologías del agua de la PSA.

en agua), tres cromatógrafos iónicos: uno configurado para analizar cationes utilizando métodos isocráticos, otro para el análisis de aminas también con 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) y un equipo de análisis de PCR (Polymerase Chain Reaction) cuantitativo a tiempo real ultrarrápido. Todos estos sistemas están informatizados mediante una completa red de ordenadores.

3. Laboratorio de Microbiología con nivel de Bioseguridad 2 que ocupa una superficie de 27 m^2 (Figura 2.38 (b)). En este espacio se encuentran todos los equipos relacionados con el análisis microbiológico enfocado a la desinfección de aguas conteniendo distintos microorganismos (bacterias, hongos, etc.): tres cabinas de seguridad microbiológica, un autoclave, dos incubadores, 2 microscopios ópticos de contraste de fases con modulo de fluorescencia acoplados a una cámara de microfotografía, un turbidímetro y un multisensor de pH, oxígeno disuelto y conductividad.
4. La sala del Microscopio Electrónico de Barrido (SEM, scanning electron microscopy) con una superficie de 11 m^2 (Figura 2.38 (c)). Para la preparación de las muestras microbiológicas y de catalizadores a analizar en el SEM, el sistema se completa con un equipo de recubrimiento metálico y otro de secado en punto crítico.
5. Finalmente el nuevo laboratorio de tecnologías del agua se completa con una pequeña oficina de unos 17 m^2 de superficie, que dispone de tres puestos de trabajo en la que se ubican los investigadores visitantes para realizar actividades de tratamiento de los datos obtenidos durante la experimentación desarrollada en la PSA. Además se dispone de un almacén de productos químicos e inventariable con una superficie de unos 35 m^2.
6. Finalmente el nuevo laboratorio de tecnologías del agua se completa con una pequeña oficina de unos 17 m^2 de superficie, que dispone de tres puestos de trabajo en la que se ubican los investigadores visitantes para realizar actividades de tratamiento de los datos obtenidos durante la experimentación desarrollada en la PSA.

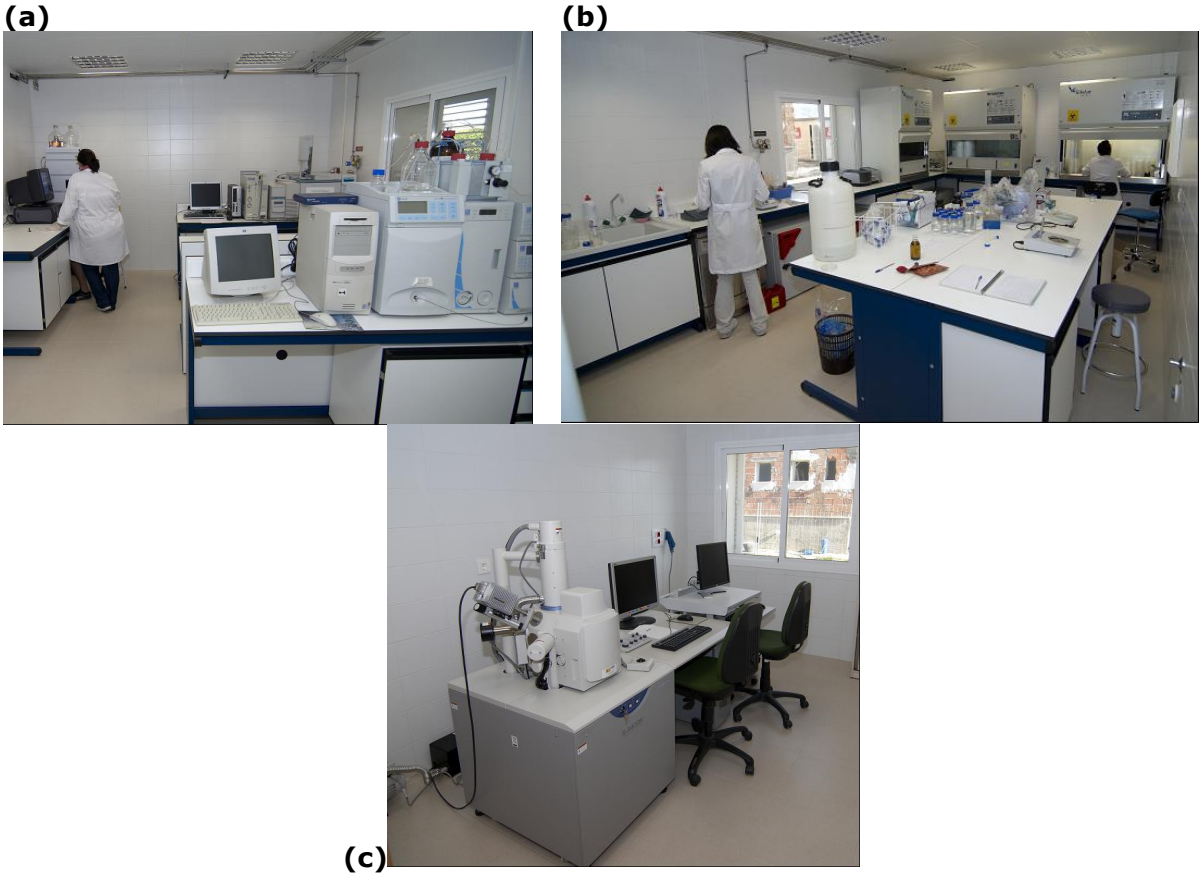


Figura 2.38. Fotografías de las distintas salas anexadas al nuevo laboratorio de tecnologías del agua de la PSA: (a) Sala de cromatografía, (b) laboratorio de Microbiología y (c) sala del SEM (microscopio electrónico de barrido).

2.7.2 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 y caracterización físico-química de fotocatalizadores como para la evaluación y optimización de sistemas fotoquímicos para la descontaminación química y biológica de aire.

Para la síntesis de materiales disponen de un sistema de deposición de láminas delgadas por dip-coating, bombas de digestión para síntesis hidrotermal, estufas, mufla, centrífugas, destilador de agua etc., mientras que para la caracterización cuenta con un espectrofotómetro UV-Vis dotado de esfera integradora que permite medir en reflectancia difusa y tiene acceso a técnicas como XRD, XPS, adsorción N_2 o TGA-DTG DTA.

Para realizar ensayos de actividad cuen-

Figura 2.39. Fotorreactor híbrido solar/lámparas con captador parabólico compuesto (CPC)

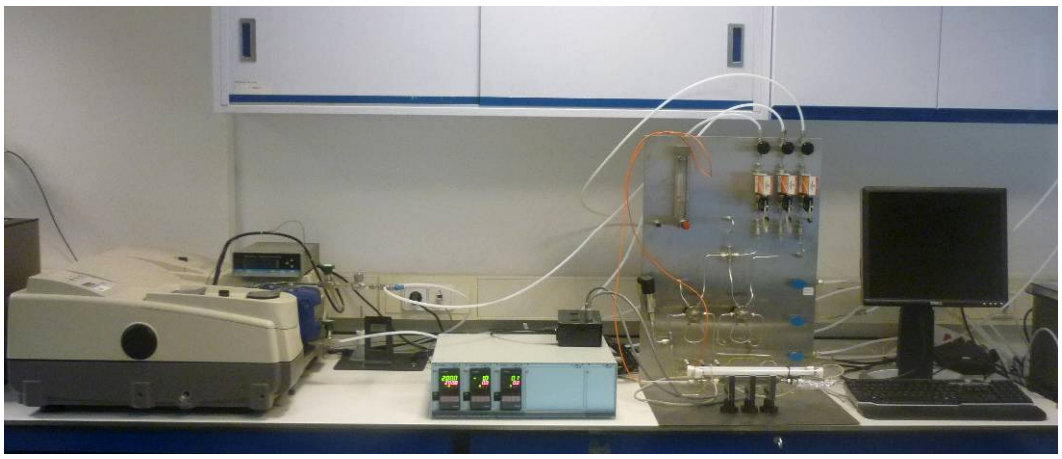


Figura 2.40. Banco automático de ensayos de actividad fotocatalítica con radiación UV acoplado a un sistema FT-IR para análisis de los productos de reacción

tan con múltiples reactores a escala laboratorio de diferentes tamaños y prototipos 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.

El análisis químico de corrientes gaseosas se realiza con diferentes sistemas de detección. El grupo cuenta con un microcromatógrafo de gases con detector de conductividad térmica (micro-GC), dos cromatógrafos de gases con detectores FID y TCD, un analizador de NO_x por quimiluminiscencia, un analizador de CO_2 por IR, y dos espectrómetros FT-IR, uno de ellos dotado de una celda de gases de reflexión múltiple. Además, se dispone de una celda de ATR y una celda DRIFTS con tres ventanas de cuarzo, que permite el análisis operando de lo que ocurre en la superficie del fotocatalizador durante la reacción fotocatalítica.

El análisis químico del aire interior caracterizado por la baja concentración de contaminantes, se realiza en un equipo de desorción térmica automática acoplado a un cromatógrafo de gases y un detector espectrofotométrico de masas (ATD-GC-MS)

Figura 2.41. ATD-GC-MS para análisis de aire interior

Para la caracterización biológica del aire, bacterias y hongos, se dispone de un laboratorio individual equipado con una campana de seguridad biológica de flujo laminar vertical, un autoclave para esterilización, 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 refrigeración, dos agitadores orbitales, dos estufas para incubación y dos neveras con congelador para conservación de muestras.

El muestreo y el seguimiento de la capacidad de desinfección fotocatalítica del aire se realiza mediante impactadores de aire tanto de cabezal sencillo como de doble cabezal.

Figura 2.42. Laboratorio para caracterización biológica del aire

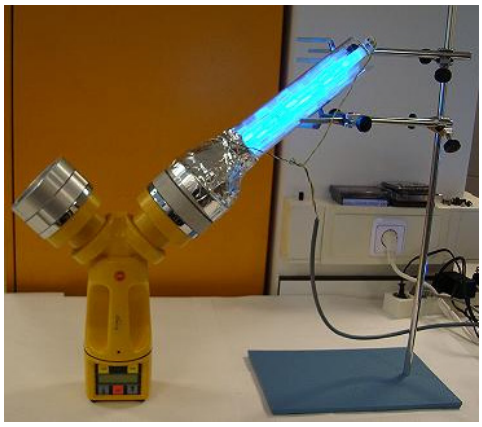


Figura 2.43. Impactador de aire para muestreo biológico acoplado a reactor de desinfección fotocatalítica

2.7.3 Planta de desalación solar mediante destilacion MED

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

Figura 2.44. Planta de destilación MED de la PSA

Figura 2.45. Bomba de absorción de doble efecto BrLi-H_2O acoplada a planta MED

máxima de operación de 70ºC en la primera celda.

El sistema opera con agua como fluido caloportador, la cual es calentada a su paso por los captadores solares y transportada al sistema de almacenamiento. El agua caliente procedente de dicho sistema de almacenamiento proporciona a la planta MED la energía térmica necesaria para su funcionamiento. El campo solar está compuesto por 252 captadores solares estáticos (CPC Ao Sol 1.12x) con una superficie total de 500 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.

2.7.4 Plataforma de Ensayo para Módulos de Destilación por Membranas

Esta relativamente reciente instalación se ha implementado en el año 2007 en el marco del proyecto europeo MEDESOL, 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 que han sido desarrollados en el marco del proyecto.

Figura 2.46. Vista de la planta de ensayos para módulos de DM

En la actualidad cuenta, como componentente principal, con tres módulos de destilación por membrana tipo AGMD[1] fabricados por el grupo Keppel Seghers. 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.

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.

Figura 2.47. Módulos de destilación por membrana caracterizados en la planta; izquierda: Modulo de Scarab AB; derecha: módulo de Keppel Seghers

El campo de captadores solares esta compuesto por 252 CPC (Compound Parabolic Collectors, CPC Ao Sol 1.12x) 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 campo de captadores es modular y por tanto muy versátil, pudiéndose ajustar

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

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 2.48 se puede ver un esquema de la instalación

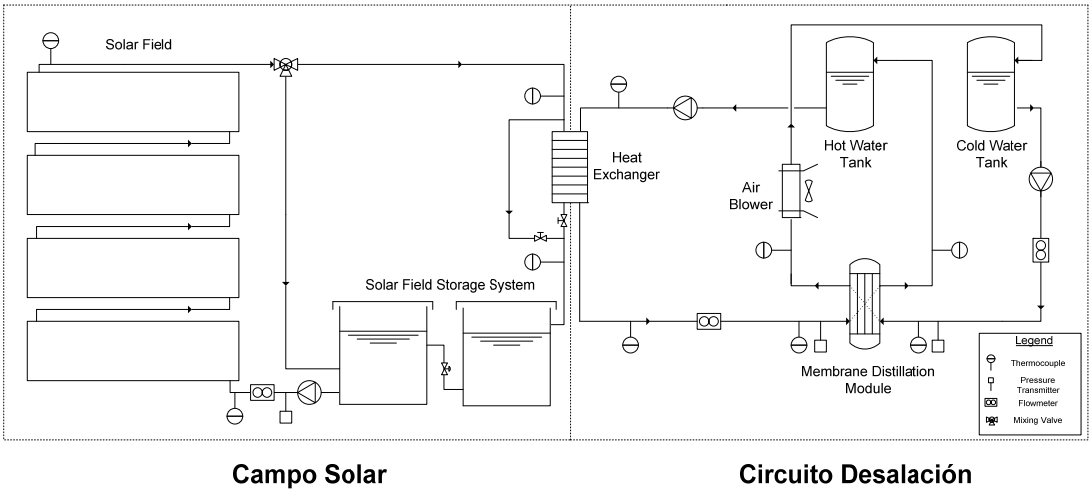


Figura 2.48. Esquema de la planta de DM

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 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.

Durante el último año se ha trabajado en la instalacion de un campo solar de captadores CPC especialmente diseñados para trabajar en las temperatu-

Figura 2.49. Vista de la planta de ensayos de DM con el sistema de Solar Spring

ras de operación de la DM. De esta forma, la instalación de DM se hará totalmente independiente del campo solar AQUASOL (que actualmente alimenta tanto al sistema de DM como a la planta MED) y las necesidades termicas estaran ajustadas al proceso. La nueva instalación contará igualmente con un aerorefigerador propio y resistente al agua de mar.

A los modulos de DM de que se dispone en la planta, tambien se ha añadido durante el año 2010 uno de los desarrollados por el instituto alemán ISE Fraunhofer. El sistema incluye su propio circuito hidaulico consistente en tanque, bombas e intercambiador de calor y es fácilmente acoplable a la fuente de calor (en este caso, el campo de captadores solares).

2.7.5 Instalación ORC solar

La instalación, implementada en el año 2009, se diseño con el objetivo de evaluar la viabilidad del concepto de ciclo Rankine orgánico solar. La instalación consta de un prototipo con una potencia nominal de 5 kW, fabricado por la empresa suiza Enerftech. El funcionamiento básico consiste en la evaporación de un fluido para llevarlo a una turbina, en el que se expandirá, generando energía mecánica que a su vez se transformará en electricidad. El fluido expandido se condensará y comprimirá para volver a comenzar el ciclo. La máquina también dispone de un regenerador de calor interno y de 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. El prototipo propone dos innovaciones con objeto de mejorar la eficiencia del proceso de transformación de energía:

1) La turbina es un expansor tipo scroll, especialmente diseñada para esta aplicación. Hasta ahora, los expansores scroll utilizados en ORC son compresores de maquinas de refrigeración invertidos.
2) El fluido de trabajo utilizado es Solkatherm SES36, de forma que la temperatura de entrada al ciclo puede ser más elevada que otras instalaciones similares, permitiendo alcanzar más rendimiento teorico.

Para evaporar el fluido de trabajo, el ciclo necesita una alimentación térmica de entre 25 y 30 kW, con temperatura de entrada al evaporador de unos 200ºC. Para proporcionar esta energía, el prototipo se ha conectado 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. Las dimensiones y tipo de conexión realizadas permiten un control elevado sobre la estabilidad en la temperatura de entrada y sobre las

Figura 2.50. Instalación experimental de ORC solar

condiciones de operación del prototipo. Por tanto, esta instalación proporciona la insfraestructura necesaria para la evaluación de los esquemas de ORC solar a media temperatura.

2.7.6 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.

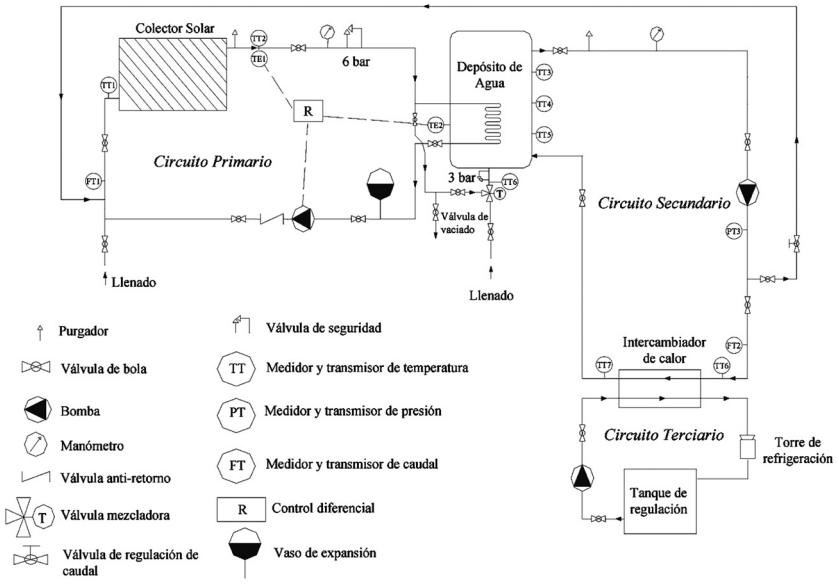


Figura 2.51. Esquema general de la plataforma de ensayo de captadores solares estáticos

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.

2.8 Otras Instalaciones

2.8.1 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 servi-

cios suministrados por la antigua estación, instalando una nueva estación radiométrica cumpliendo los más estrictos requisitos de calidad y precisión en la medida de la radiación solar.

La configuración de la nueva estación se ha hecho siguiendo las directrices de la Organización Meteorológica Mundial en el marco de la red 'Baseline Surface Radiation Network', a la que pertenece de pleno derecho desde octubre de 2005.

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

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

Figura 2.52. Visión global de la nueva estación radiométrica

3) ***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.

4) ***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

Figura 2.53. Sondas del espectrorradiómetro para medida de la radiación global y difusa dispuestas en el seguidor solar

Figura 2.54. Detector del espectrorradiómetro con el *switcher* de conexión de las tres sondas

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.

5) ***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.

6) ***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.

Figura 2.55. Acceso y registro de usuarios a la información de radiación solar.

En la actualidad la estación meteorológica se encuentra en fase de revisión.

2.8.2 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:

Figura 2.56. Ubicación del Laboratorio de Calibración Espectral.

- 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.

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

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

El objeto de la instalación LECE es contribuir a la mejora de conocimiento sobre la calidad energética de elementos de la edificación llevando a cabo experimentos para determinar sus propiedades térmicas de cerramientos tales como el coeficiente global de transferencia de calor, el factor de ganancia solar o los tiempos de respuesta del sistema. Además se desarrollan otro tipo de ensayos entre los que deben citarse, por su importancia respecto a las condiciones climáticas en España, los referentes a fenómenos de ventilación. El

Figura 2.57. Vistas del LECE: Células, edificios referencia y chimenea solar

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.

2.8.4 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 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).

Figura 2.58. Edificio del proyecto ARFRISOL

- 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.

2.9 Plan 'E' y SolarNOVA (Feder)

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.

Adicionalmente, con cargo a Fondos FEDER, la PSA ha recibido otros 11,65 M€ para avanzar más a fondo en la construcción de nuevas infraestructuras de I+D en la PSA.

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

2.9.1 Acciones relacionadas con las instalaciones experimentales

Las siguientes actuaciones fueron concluidas durante el año 2010 y su alcance se describe detalladamente en otros capítulos de este informe.

Resumidamente, se trata de las siguientes:

- Prototipo para el desarrollo de un colector cilindro-parabólico (CCP) sin juntas rotativas
- Nuevo sistema de control y adquisición de datos del actual lazo de ensayos para generación directa de vapor solar 'DISS'.
- Nuevo laboratorio para el estudio de la tecnología de sales fundidas como almacenamiento térmico para las plantas 'CSP'.
- Equipamiento científico para la nueva línea de colaboración internacional en caracterización y homologación de receptores solares ("certificación" CIEMAT-DLR)
- Nuevo horno solar de muy alta concentración para procesos termoquímicos a alta temperatura
- Nueva instalación destinada al estudio del acoplamiento entre una planta solar termoeléctrica y otra de desalinización de agua salobre que aproveche el calor residual
- Nueva instalación solar experimental para aplicaciones de poligeneración y calor de proceso
- Nuevas instalaciones de ensayo e instrumental científico para el estudio de la destoxificación, la desalinización y la desinfección de aguas mediante energía solar.

2.9.2 Acciones relacionadas con las infraestructuras generales y obra civil

Dentro de las acciones promovidas dentro de este plan de mejora de infraestructuras iniciado con el 'Plan E' en el año 2009, se puede dar por concluida la transformación de un antiguo edificio de oficinas en edificio de laboratorios.

Por otra parte, las obras de urbanización y ajardinamiento del centro se han ido llevando a cabo en diferentes ubicaciones dentro de la parcela y se espera que continúen hasta su finalización con el propio programa, a finales de 2012.

Nuevo edificio técnico para biblioteca y centro de cálculo

Esta es la única acción pendiente de concluir en el año 2011.

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

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 Sufrategu
felix.tellez@ciemat.es i

Alfonso Vidal Delgado
alfonso.vidal@ciemat.es

Loreto Valenzuela Gutiérrez
loreto.valenzuela@psa.es

Javier León Alonso
javier.leon@psa.es

Angel Morales Sabio
angel.morales@ciemat.es

Aránzazu Fernandez García
arantxa.fernandez@psa.es

Mª Esther Rojas Bravo
esther.rojas@ciemat.es

Jesus Fernández Reche
jesus.fernandez@psa.es

Thorsten Denk
thorsten.denk@psa.es

Mónica Álvarez-de-Lara
monica.alvarezdelara@ciemat.es

Rafael Monterreal Espinosa
rafael.monterreal@psa.es

Jesús Ballestrín Bolea
jesús.ballestrin@psa.es

Antonio Ávila
antonio.avila@ciemat.es

Raúl Enrique Orts
raul.enrique@psa.es

Inmaculada Cañadas
inmaculada.canadas@psa.es

José Rodríguez
jose.rodriguez@psa.es

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 año 2010, 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:

- 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 y que continuó durante los años 2008 y 2009, sufrió un periodo de gran incertidumbre durante una gran parte del año 2010, debido fundamentalmente a rumores de posibles cambios en el marco jurídico definido por el RD 661/2007, que podrían ser aplicados por la Administración con carácter retroactivo. Esta situación de incertidumbre puso en una situación de "stand-by" a muchos proyectos que estaban intentando cerrar su financiación, pues los inversores se resistían a tomar decisiones mientras no se aclarasen todas las incertidumbres. En el último trimestre del año, una vez que dichas incertidumbres parecían haberse aclarado y una relativa calma volvió de nuevo al sector, la actividad de I+D asociada a las plantas solares termoeléctricas volvió a experimentar un auge importante al intentar los promotores de los proyectos recuperar el tiempo perdido. Este auge se tradujo en un incremento de las peticiones de colaboración que la Unidad de Sistemas Solares de Concentración (USSC) de la PSA recibía desde el sector industrial.

A pesar de que una gran parte del año 2010 ha estado marcada por una fuerte incertidumbre para el sector, durante el año 2010, la USSC suscribió un total de 19 acuerdos de colaboración con entidades del sector termoeléctrico, y también se comenzaron a elaborar acuerdos cuya materialización se preveía para el año 2011. Por este motivo, la sobrecarga de trabajo que se originó en nuestra Unidad a raíz del RD 661/2007 continuó durante el año 2010, a pesar del problema ya mencionado sobre la incertidumbre jurídica que sufrió el sector. Se evaluaron y caracterizaron numerosos componentes (reflectores, recubrimientos selectivos y antireflexivos entre otros), así como diversos concentradores solares. Y en todo momento se intentó dar, a las numerosas empresas que nos lo pidieron, el apoyo científico y tecnológico que necesitaban.

En esta línea de apoyo al sector privado cabe destacar dos actividades importantes: la participación en los diversos foros sobre estandarización que se han ido constituyendo bajo el paraguas de varias iniciativas públicas y privadas, y la consolidación del laboratorio de reflectometría que en colaboración con nuestros colegas del DLR alemán ya empezamos a poner en marcha en el año 2009.

En el campo de la estandarización, una acuciante necesidad del sector termoeléctrico, la USCS ha participado en todos los foros y Grupos de Trabajo que se han ido creando con este fin:

- El comité de estandarización ASME PTC-52 creado en EEUU,
- El Subcomité AEN/CTN 206/SC "Sistemas de Energía Solar Termoeléctrica", creado por la iniciativa conjunta de AENOR, PROTERMOSOLAR, CENER y CIEMAT. Dentro de este Subcomité la USCS participa en sus

tres Grupos de Trabajo, dedicados a: GT1: Plantas, GT2: Componentes, y GT3: Sistemas de Almacenamiento Térmico.
- El Grupo de Trabajo del proyecto STAMP, creado dentro del marco de trabajo de SolarPACES a iniciativa del DLR alemán y del NREL americano para "Standardized Methodology for CSP Performance Prediction".

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, en el año 2010 se celebró una nueva edición de nuestro curso "Sistemas Solares de Concentración", la cual tuvo lugar en Madrid desde el 18 al 28 de octubre. Una vez más, esta nueva edición del curso tuvo 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.

Los capítulos siguientes resumen las actividades y resultados más importantes conseguidos en el año 2010 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: Loreto Valenzuela Gutiérrez
loreto.valenzuela@psa.es

Las actividades llevadas a cabo en el año 2010 por el Grupo de Media Concentración (GMC) se enmarcan en diversos campos, que van desde el desarrollo de nuevos componentes para capatadores cilindro parabólicos, la investigación de fluidos de trabajo innovadores para captadores cilindro parabólicos y prestación de servicios técnicos a las empresas del sector.

Hay que destacar que el número de acuerdos de colaboración suscritos con empresas y servicios prestados por el GMC ha seguido siendo muy importante durante en el año 2010, siendo más de 15 los contratos vigentes para realizar entre otras actividades: transferencia de la tecnología de recubrimientos selectivos para receptores desarrollada y patentada por el CIEMAT, caracterización de prototipos de captadores cilindroparabólicos y componentes para los mismos, estudios térmicos e hidráulicos de sistemas con captadores cilindroparabólicos y sistemas de almacenamiento térmico, y estudios de producción anual de centrales solares termoeléctricas.

El desarrollo de estas actividades ha exigido continuar mejorando nuestras metodologías, procedimientos y equipamiento para la investigación, desarrollo y caracterización (geométrica, óptica y térmica) de nuevos concentradores solares de foco lineal y componentes para este tipo de sistemas. En particular durante este año se han dedicado muchos recursos en la mejora del equipamiento para la caracterización de reflectores solares y la construcción de una instalación de almacenamiento térmico en sales fundidas, que se ha sufragado mediante los presupuestos del Plan E otorgados a principios de 2009 a la PSA por el Ministerio de Ciencia e Innovación.

Entre las líneas propias de I+D que el Grupo viene desarrollando desde años anteriores, hay que destacar entre los distintos logros alcanzados que este año ha finalizado el proyecto CAPSOL para el desarrollo y construcción de un captador cilindroparabólico para aplicaciones térmicas hasta 250ºC, que ya estará disponible comercialmente en 2011; durante el año, se han seguido las investigaciones relacionadas con el uso de gases a presión en concentradores de foco lineal, patentándose un concepto de planta modular con captadores

cilindroparabólicos con gas presurizado como fluido de trabajo y almacenamiento térmico en sales fundidas; se ha trabajado en el desarrollo de un nuevo recubrimiento selectivo para absorbedores con temperaturas de fluido por encima de 500ºC; y se ha aumentado de forma significativa la capacidad de diseño, modelado y simulación del Grupo tanto de sistemas de captadores cilindroparabólicos con aceite, agua/vapor, o gases a presión, como de sistemas de almacenamiento térmico, con códigos desarrollados en distintos entornos de programación (MatLab, ANSYS, TRNSYS).

A continuación se resumen las actividades y logros alcanzados en el año 2010 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 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 los proyectos DISS (1996-2001) e INDITEP (2002-2005) pusieron de manifiesto la viabilidad técnica de la generación directa de vapor en los tubos absorbedores de captadores cilindroparabólicos 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 centrales GDV de gran tamaño, ya que la planta existente en la PSA está formada por solo una fila de captadores y no dispone de un turbo-grupo que convierta en electricidad el vapor producido en el campo solar. Por consiguiente, resulta necesario construir una central solar con tecnología GDV compuesta por varias filas paralelas de captadores cilindroparabólicos, con el fin de comprobar experimentalmente si el proceso GDV resulta o no viable a escala comercial.

Objetivos: el objetivo de este proyecto es la construcción de una central solar termoeléctrica con tecnología GDV de tamaño pre-comercial (3 MWe), compuesta por cuatro filas paralelas de captadores cilindroparabólicos conectadas a un bloque de potencia en el que el vapor suministrado directamente por el campo solar se convierta en electricidad mediante una turbina de vapor acoplada a un generador eléctrico. Dicha central permitirá estudiar la interacción entre las filas paralelas de captadores, así como los procesos óptimos de arranque y parada para grandes centrales GDV comerciales. La construcción de la central solar termoeléctrica GDV propuesta en este proyecto resulta necesaria antes de poder abordar con seguridad la implantación de grandes centrales GDV comerciales.

Logros en el alo 2010: en el año 2010, tras la constitución legal a finales del 2009 del consorcio promotor del proyecto, se empezó con la tramitación de permisos y licencias, a la vez que se contrató la ingeniería de detalle a Iberdrola Ingeniería y Construcción. Se realizó el Proyecto de Ejecución y se obtuvo la Licencia de Obras y al Autorización Administrativa.

Entre otros documentos se realizaron los siguientes por parte de la ingeniería: plano de implantación general, plano preliminar de implantación del BOP, sistema de control para las diversas estrategias de operación que tendrá la central, planos preliminares movimiento de tierras, diagramas de flujo, plan

de Vigilancia Ambiental, y documentos generales de coordinación del proyecto.

Entre las novedades más importantes introducidas en el proyecto cabe destacar la decisión de instalar una turbina de vapor que sirva tanto para vapor sobrecalentado como para vapor saturado dentro de un determinado rango de temperaturas. La instalación de una turbina de estas características, aunque supone un pequeño extracoste para el proyecto, será sin duda de un gran valor añadido para la planta, pues le conferirá una gran flexibilidad de operación y permitirá poder estudiar en un futuro la opción de vapor saturado frente a la de vapor sobrecalentado.

La participación de la PSA en el proyecto durante 2010 ha estado principalmente centrada en dar apoyo a la ingeniería en los temas relacionados con el proceso GDV, fundamentalmente en lo relativo a la operación del campo solar y la definición del sistema de regulación y control de proceso. En el último trimestre del 2010 el CIEMAT-PSA comenzó un estudio de los gradientes de temperatura esperables en los tubos receptores de la zona de sobrecalentamiento del campo solar, que es la más crítica a este respecto debido a que en ella se producen los coeficientes de transferencia de calor por convección más bajos en las paredes internas de los tubos. El programa de elementos finitos utilizado para dicho estudio es FLUENT y dentro de este análisis se contemplan diversos espesores de pared y diversas condiciones de operación (principalmente el caudal de vapor y flujo de calor sobre el tubo receptor). Dicho estudio se terminará en la primavera del 2011 y sus resultados servirán para decidir cual debe ser el espesor del tubo interior metálico de los receptores del campo solar.

Por último, y teniendo en cuenta el evidente carácter innovador que supone la central Puertollano GDV, CIEMAT-PSA participó a finales del año 2010 en la preparación de la solicitud presentada por el consorcio en el mes de diciembre a la convocatoria mediante procedimiento de concurrencia publicada en el BOE del 26 de noviembre para la obtención del derecho a la percepción de un régimen económico adicional a la retribución del mercado de producción de energía eléctrica para proyectos de centrales solares termoeléctricas de carácter innovador.

Figura 3.1 Ubicación de la planta Puertollano GDV: Puertollano (Ciudad Real), junto a planta termosolar de 50 MW CTS Ibersol Ciudad Real de IBERDROLA RENOVABLES e IDAE.

3.2.2 Recubrimientos especiales para tubos receptores

Recubrimientos antirreflectantes para tubos de vidrio de captadores cilindroparabólicos.

Participantes: CIEMAT-PSA, Empresas privadas españolas y extranjeras
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 en torno al 97%, lo que significa un aumento de alrededor de un 5% 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 la aplicación de recubrimientos anti-reflexivos en los captadores solares.

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.

Logros en 2010: Anteriormente, en CIEMAT-PSA se habían desarrollado recubrimientos antirreflectantes de sílice porosa con muy buenas propiedades ópticas, consiguiendo aumentar la transmitancia solar del vidrio borosilicato de 0.92 a 0.97. Sin embargo, los recubrimientos porosos de sílice, preparados por cualquier método, tienen gran cantidad de silanoles (Si-OH) en su superficie, que son muy reactivos e inducen la adsorción de vapor de agua y contaminantes en condiciones de humedad. Esta adsorción superficial tiene como consecuencia el deterioro de las propiedades ópticas, entre otras. Durante el año 2010, hemos cambiado la formulación de la solución precursora para la preparación de los recubrimientos, de manera que las películas obtenidas mantienen sus propiedades ópticas incluso en condiciones de 100% de humedad. La Figura 3.2 muestra los espectros de transmitancia de vidrios recubier-

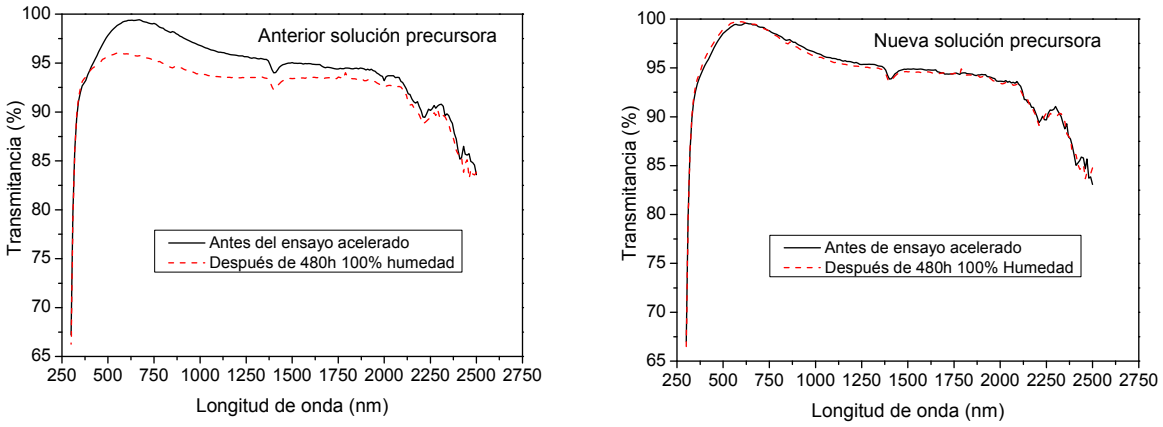


Figura 3.2 Espectros de transmitancia de vidrio borosilicato con recubrimiento antirreflectante preparado a partir de la solución anterior y de la nueva solución, antes y después de ensayo acelerado según norma UNE-EN-1096-2.

tos con películas antirreflectantes preparados a partir de la solución precursora desarrollada anteriormente y la nueva formulación, antes y después del ensayo acelerado de resistencia a la condensación, según la norma UNE-EN-1096-2. Como se puede observar, los espectros de las dos muestras antes del ensayo son iguales, obteniéndose unos valores de transmitancia solar de 0.971 en ambos casos. Después del ensayo acelerado, la muestra preparada con la anterior formulación ha disminuido su transmitancia, dando lugar a un valor de transmitancia solar de 0.945, mientras que la película preparada a partir de la nueva solución, tiene prácticamente el mismo espectro de transmitancia, dando lugar a un valor de transmitancia solar de 0.970. Con la nueva solución precursora también se han mejorado las propiedades mecánicas del recubrimiento.

Cabe destacar que se han firmado contratos de cesión de la tecnología desarrollada en el CIEMAT en este campo, con dos empresas extranjeras, habiendo comenzado ya la producción en una de ellas y estando prevista que comience en el primer trimestre de 2011 en la segunda de estas empresas.

Publicaciones: [3.1]

Absorbentes selectivos de alta temperatura

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 en los sistemas de concentración solar, tanto en concentradores de foco lineal (captadores cilindroparabólicos y sistemas de tipo reflector Fresnel lineal), como en concentradores de foco puntual (sistemas de receptor central y discos parabólicos), es el receptor, ya que en éste es donde la radiación solar concentrada se convierte en energía térmica. Debido a su alta carga tecnológica, aunque se ha producido un importante despegue comercial sobre todo de la tecnología termosolar con captadores cilindroparabólicos en los últimos años, en el mercado aún existen incluso pocos fabricantes que puedan suministrar tubos absorbedores de vacío para este tipo de captadores. El CIEMAT lleva varios años trabajando en el desarrollo de nuevos recubrimientos selectivos adecuados para su uso en tubos absorbedores, y cuenta con patentes relacionadas con este tema.

Objetivos: desarrollo de recubrimientos absorbentes selectivos (de alta absorptancia y baja emisividad) basados en la tecnología Solgel para media y alta temperatura, tanto para su aplicación en tubos absorbedores para concentradores de foco lineal, tanto sin vacío (para temperaturas de trabajo moderadas), como con vacío (para plantas solares termo-eléctricas), así como para su aplicación en receptores para sistemas de torre.

Logros en 2010: Durante el año 2010 se han realizado estudios para aumentar la durabilidad del absorbente selectivo de alta temperatura, por encima de la temperatura actual de 500ºC, válidos no solo para receptores de captadores cilindroparabólicos, sino también para sistemas de receptor central. Se han aumentado los espesores de las barreras antidifusoras y del reflector infrarrojo de platino con el fin de reducir la difusión del reflector infrarrojo en el sustrato, que es el mecanismo de degradación de este absorbente. Los resultados preeliminares indican que los absorbentes selectivos obtenidos son estables a 600ºC en aire, sobre sustratos de acero inoxidable austenítico y tienen una absorptancia solar de 0,96 y una emisividad térmica de 0,087 a

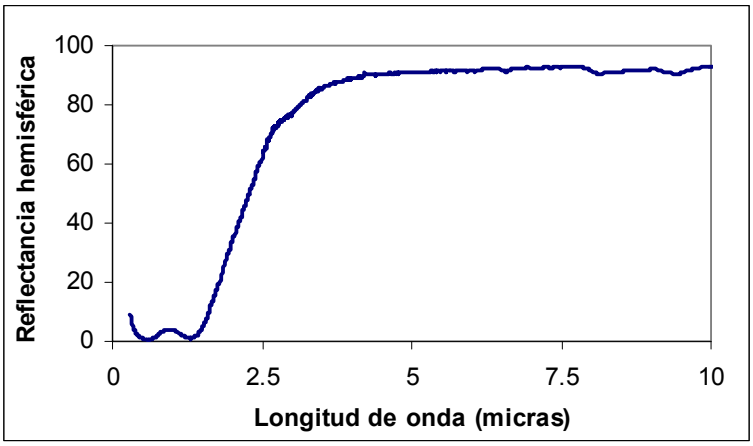


Figura 3.3 Espectro completo del absorbente selectivo desarrollado en el CIEMAT.

400ºC y de 0,11 a 500ºC. En la Figura 3.3, se muestra el espectro completo del absorbente selectivo de alta temperatura desarrollado por CIEMAT.

Actualmente, las capas se depositan por el método de extracción del tubo a velocidad constante de un contenedor con la solución precursora. Con el fin de simplificar el proceso industrial de deposición de las capas y reducir la cantidad de solución precursora necesaria para recubrir los tubos, se está desarrollando un nuevo sistema de deposición que permite depositar cada capa con sólo 20ml de solución precursora. Dicho dispositivo se ha protegido con la patente española P200901973, que está en fase de tramitación.

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 resultados obtenidos para la eliminación de la primera capa indican que se mantienen las propiedades ópticas del absorbente, pero se produce una considerable reducción de la estabilidad térmica. Se están estudiando nuevos materiales para la primera capa que permitan aumentar la temperatura de operación del nuevo absorbente.

3.2.3 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 250ºC, 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 100ºC 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 250^{o}C 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 específicos:

- Diseño de un captador solar cilindroparabólico 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.
- Evaluación de los prototipos 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 2010: En los dos primeros años del proyecto, se acometió en la PSA el diseño y la construcción de una instalación de ensayos adecuada para la evaluación de captadores solares cilindroparabólicos de pequeño tamaño. Igualmente, se procedió al diseño detallado, la fabricación, el montaje y la evaluación del primer prototipo del captador solar, CAPSOL-01. En los últimos meses del año 2009, se procedió a la fabricación y el montaje de dos unidades de los segundos prototipos, CAPSOL-02, incorporando las mejoras propuestas a la vista de los resultados obtenidos en los ensayos del primer prototipo (ver Figura 3.4).

Las principales mejoras incluidas en los segundos prototipos son las siguientes: mejora en la posición y alineamiento del tubo absorbedor, eliminación de los efectos negativos del ángulo de desmoldado, mejora de la estanqueidad del captador, eliminación de las condensaciones interiores y mejora del factor de interceptación, gracias a la incorporación de un marco

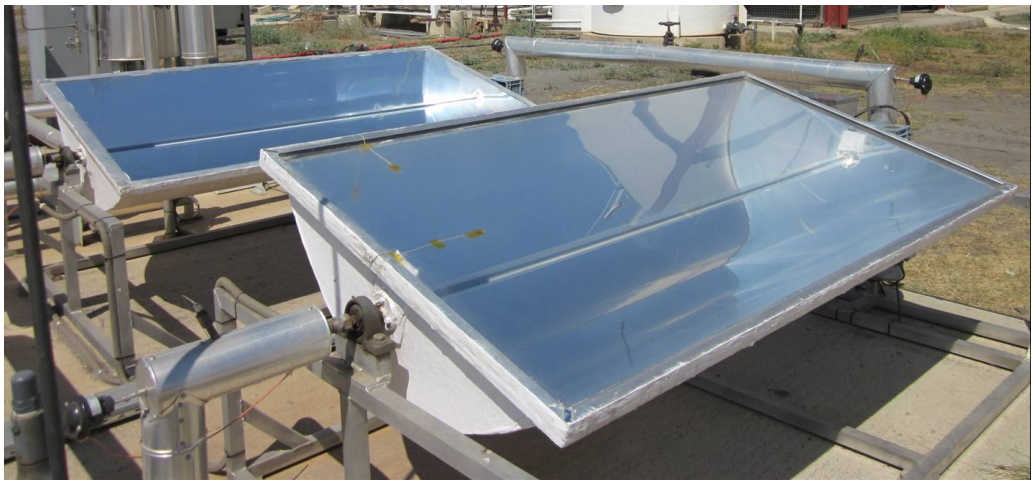


Figura 3.4 Prototipos de captador solar cilindroparabólico modelo CAPSOL-02

interno en el concentrador. Estas dos unidades del prototipo CAPSOL-02 se instalaron en el banco de ensayos CAPSOL a finales de 2009 y se han evaluado en el primer semestre del año 2010.

Mediante un estudio fotogramétrico, se detectó una mejora considerable en la calidad óptico-geométrica del concentrador de los prototipos CAPSOL-02 respecto a los de CAPSOL-01, gracias a la inserción del marco interno rigidizador. Esta mejora se traduce en un incremento en el factor de interceptación de 92,3% (CAPSOL-01) a 96,5% (CAPSOL-02). En cuanto al rendimiento óptico-geométrico pico, el valor teórico calculado a partir de los parámetros característicos de los componentes suministrados por los fabricantes es de 63,2%. Los resultados experimentales realizados arrojan un valor de 63±3% en CAPSOL-01 y 64±5% en CAPSOL-02. Por ello, se ha verificado que la calidad óptico-geométrica a un ángulo de incidencia nulo es la esperada. Este valor se verá incrementado considerablemente en los captadores comerciales, gracias a la incorporación de superficies antireflexivas en ambas cubiertas de vidrio.

Los resultados experimentales del modificador por ángulo de incidencia de ambos prototipos son similares, puesto que no se ha introducido ninguna modificación que afecte a este parámetro. El efecto negativo del ángulo de incidiencia en este tipo de captador de pequeño tamaño se verá considerablemente disminuido en las instalaciones comerciales, ya que los captadores se instalarán con orientación Norte-Sur y con el eje de giro inclinado respecto a la horizontal.

Finalmente, los resultados de los ensayos de rendimiento global han indicado una ligera disminución del mismo en los segundos prototipos respecto a los primeros, a medida que se aumenta la temperatura de operación. Esta disminución en el rendimiento se debe a un aumento en las pérdidas térmicas, posiblemente causado por el deterioro de la calidad del tubo absorbedor. Para solventar este problema, el CIEMAT pretende iniciar una línea de trabajo para la fabricación de tubos absorbedores adecuados para este tipo de captadores.

Publicaciones:[3.2]

3.2.4 Gases a presión como fluidos de trabajo para captadores cilindroparabólicos

Participantes: CIEMAT, Universidad Politécnica de Madrid
Abengoa Solar NT, ACCIONA, ASSYCE
Contacto: Eduardo Zarza, eduardo.zarza@psa.es
Presupuesto total: 950.000 €.
Duración: Diciembre, 2005 - Diciembre, 2012

Motivación: La tecnología de captadores cilindroparabólicos es la que en la actualidad está comercialmente más desarrollada para plantas solares termoeléctricas, con más de 4,5 millones de metros cuadrados de captadores en operación rutinaria a finales del año 2010, y con una potencia eléctrica nominal superior a los 900 MW_e en esa misma fecha. 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 captadores 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 los inconvenientes que lleva asociado el aceite térmico son: riesgo de contaminación medioambiental en caso de fu-

gas, 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 captadores cilindroparabólicos, 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 captadores cilindroparabólicos, y 2) el estudio experimental bajo condiciones solares reales usando diversos gases a presión como fluido de trabajo en el lazo de ensayos construido en la PSA. Las actividades del CIEMAT dentro de este proyecto fueron propuestas por el Prof. Carlo Rubbia, premio Nobel de Física en el año 1984.

Actividades y resultados en el año 2010: Una vez demostrada experimentalmente con los ensayos llevados a cabo en 2008 y 2009 la viabilidad técnica de usar CO_2 a presión ($\geq$50bar) como fluido de trabajo en captadores cilindroparabólicos con una temperatura máxima de 400ºC, la actividad llevada a cabo por la PSA en este proyecto durante 2010 ha estado centrada en modificar el lazo de ensayos que se construyó en 2007, para aumentar la temperatura de trabajo hasta los 500ºC. La nueva configuración de este lazo experimental es la mostrada en la figura siguiente. Como puede apreciarse en dicha figura, ya no se contempla la posibilidad de conectar los dos captadores solares en paralelo, pues la conexión en paralelo requeriría caudales de CO_2 excesivamente bajos para lograr una temperatura de 500ºC y los coeficientes de transferencia de calor en los tubos receptores serían igualmente excesivamente bajos, lo que supondría un alto riesgo para la integridad de dichos tubos.

Durante el año 2010 también se han llevado a cabo estudios de simulación

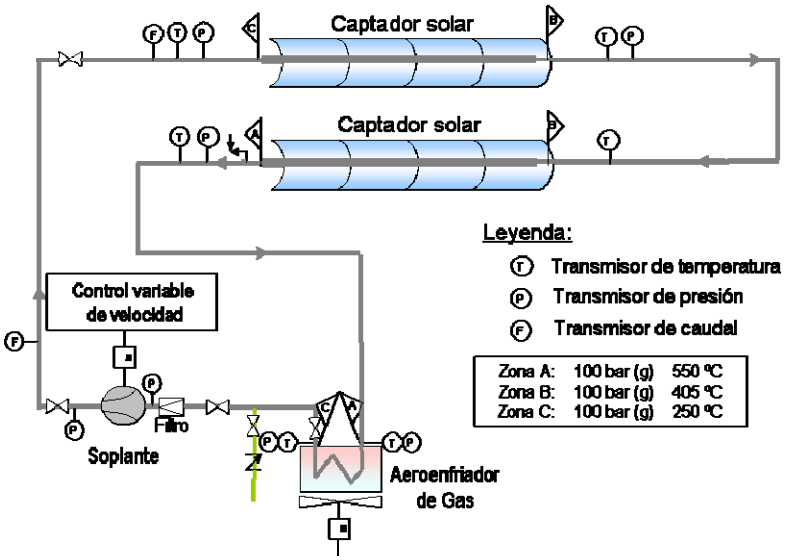


Figura 3.5 Esquema de la nueva configuración del lazo de ensayos instalado en la PSA para el estudio experimental de gases a presión como fluidos de trabajo en captadores cilindroparabólicos.

mediante ANSYS para predecir los gradientes térmicos que pueden originarse en los tubos receptores cuando se operen a temperaturas superiores a los 400ºC. Los resultados obtenidos no ponen de manifiesto previsibles daños en los tubos siempre que se mantenga un caudal apropiado y en los transitorios de radiación solar se evite que puedan darse altos incrementos de la radiación solar directa sin que inmediatamente se incremente de igual forma el caudal del gas de trabajo.

También se han llevado a cabo en el año 2010 estudios en colaboración con la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) para comparar las ventajas e inconvenientes del uso de diversos gases a presión como fluidos de trabajo en captadores cilindroparabólicos. Aunque al sopesar las ventajas e inconvenientes asociadas al CO_2 y al N_2 no se han encontrado ventajas muy significativas que muestren claramente la mayor idoneidad de uno de estos gases frente al otro, al final el Grupo de trabajo se ha decantado por el N_2, especialmente teniendo en cuenta la facilidad de producirlo a un precio razonable en la propia planta, lo cual reduciría los gastos de operación y mantenimiento de una planta comercial.

También se ha analizado durante 2010 la posibilidad de reemplazar las actuales juntas rotativas con empaquetadura de grafito por conexiones flexibles que eliminen definitivamente la necesidad de juntas rotativas. Este estudio se continuará en el año 2011.

Por último, en el año 2010 el CIEMAT ha continuado con los trámites de patente para su nuevo concepto modular de planta comercial con gas a presión como fluido de trabajo y almacenamiento térmico mediante sales fundidas. El concepto desarrollado y patentado por el CIEMAT permitiría paliar de forma importante uno de los principales inconvenientes que conlleva el uso de gases como fluidos de trabajo en captadores cilindroparabólicos: la caída de presión en el campo solar y los consiguientes consumos parásitos de bombeo. Se prevé dentro del Grupo de Trabajo de este proyecto la construcción de una pequeña planta piloto donde se puedan evaluar experimentalmente todos los elementos y equipos esenciales que compondrían una planta solar termoeléctrica comercial basada en este concepto modular.

Con el fin de estudiar experimentalmente la transferencia de calor entre un campo solar utilizando gases a presión como fluidos de trabajo y un sistema de almacenamiento térmico en calor sensible mediante sales fundidas, en el año 2010 se comenzó la construcción en la PSA de un pequeño lazo experimental con 40 Tm de sales fundidas, con un tanque frío para 290ºC y otro caliente para 505ºC. La sal empleada es la mezcla denominada Sal Solar con una composición de 40%-60% de nitrato potásico y nitrato sódico. Aunque a finales del 2010 el montaje mecánico estaba prácticamente concluido, las primeras pruebas operacionales realizadas justo a finales de año pusieron de manifiesto la necesidad de llevar a cabo importantes trabajos antes de que el sistema pudiera estar operativo.

3.2.5 Caracterización y análisis de durabilidad de reflectores solares.

Participantes: CIEMAT (España) y DLR (Alemania).
Contacto: Aránzazu Fernández García, arantxa.fernandez@psa.es.
Presupuesto total: 600 k€.
Duración: Julio 2010 – Julio 2014

Motivación: La motivación de este proyecto es el estudio de los materiales usados como reflectores, por ser éstos uno de los principales componentes de los sistemas solares de concentración.

Objetivos: El objeto de este proyecto es la caracterización óptica 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 la reflectancia y 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 del proceso y los instrumentos de medida más adecuados para la caracterización óptica de los reflectores solares.
- establecimiento del proceso y los instrumentos más adecuados para realizar los ensayos de envejecimiento acelerado de los reflectores solares.
- establecimiento de las normas y protocolos que permitan la estandarización de los ensayos relacionados con la durabilidad de reflectores solares.
- 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 2010: Durante el año 2010 se han finalizado las obras de construcción del edificio de la PSA que alberga los dos laboratorios de análisis de reflectores solares, destinando uno de ellos a estudios ópticos y de medida de reflectancia y el otro a ensayos de durabilidad en condiciones aceleradas. Asimismo, se ha procedido a la adquisición de una serie de instrumentos que se han considerado necesarios para completar el equipamiento de los laboratorios que ya se había comprado en 2009 (varios reflectómetros especulares portátiles, un microscopio 3D (este instrumento será usado conjuntamente por el Laboratorio de Materiales de la PSA), un espectrofotómetro con esfera integradora, una cámara climática de temperatura, humedad, radiación solar y lluvia, una cámara de niebla salina, una cámara ultravioleta, hornos de mufla con y sin atmósferas especiales, y dispositivos para ciclos

Figura 3.6 Edificio donde se encuentran ubicados los laboratorios de reflectores solares de la PSA

térmicos). En particular, se ha realizado la compra de un dispositivo de abrasión por limpieza en condiciones aceleradas y de dos cámaras de ensayo de envejecimiento acelerado: una cámara de simulación de tormentas de arena, especialmente diseñada para aplicaciones de reflectores solares en zonas desérticas, y una cámara de simulación de lluvia ácida. En cuanto al laboratorio óptico de medida de reflectancia, se ha adquirido un accesorio de reflectancia especular para el espectrofotómetro del que ya se disponía. A finales de año se ha realizado la instalación y puesta en marcha de todos los equipos y sistemas auxiliares.

En cuanto a las actividades realizadas dentro del proyecto, se han realizado avances significativos en la estandarización de los procesos de medida de reflectancia para la caracterización óptica de los reflectores solares. Para ello, se ha realizado un Round Robin Test en el que han participado las dos entidades integrantes de este proyecto y una tercera institución pública de Estados Unidos, el National Renewable Energy Laboratory (NREL). Gracias a los resultados de dicho ensayo se han obtenido una serie de conclusiones que han permitido avanzar tanto en el establecimiento del protocolo de medida como en la obtención de los errores asociados a los instrumentos de medida utilizados tanto por los centros de investigación como por las empresas del sector.

Por otro lado, se han firmado dos acuerdos de colaboración con empresas fabricantes de reflectores solares para llevar a cabo un estudio de los posibles tratamientos superficiales para disminuir el nivel de suciedad acumulada en los mismos. El objetivo de ambos estudios es disminuir los costes de limpieza de los concentradores de las plantas solares termoeléctricas, con el consiguiente ahorro en los costes de mantenimiento de las mismas.

En cuanto a la caracterización óptica de procesos de degradación de reflectores, se ha desarrollado un nuevo reflectómetro que permite medir la reflectividad especular en diferentes ángulos de apertura (diseñado y patentado por el DLR). El sistema se basa en un método fotográfico y permite medir un área de 5 cm de diámetro con una resolución de 10 pixel/mm. Mediante el análisis de las imágenes obtenidas es posible detectar el porcentaje de área deteriorada de la superficie total del reflector. Este método de medida ha ayudado a hacer avances significativos en cuanto a la caracterización de la corrosión en los reflectores de aluminio.

Publicaciones: [3.3]

3.2.6 Almacenamiento térmico para plantas solares termoeléctricas

Participantes:	CIEMAT-PSA, Empresas privadas españolas y europeas, centros de investigaciones internacionales
Contacto:	Esther Rojas, esther.rojas@ciemat.es
Presupuesto total:	3.200.000 €.
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.

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 2010: las actividades sobre almacenamiento térmico para centrales termosolares se pueden agrupar en:

Diseño y optimización de componentes de sistemas de almacenamiento térmico.

Sabiendo que una de las barreras para tener un almacenamiento económico en forma de calor latente es la baja conductividad de los materiales utilizados hasta ahora como medio de almacenamiento con cambio de fase (diferentes composiciones y mezclas de sales inorgánicas) y que una aproximación para solventar este problema es el diseñar adecuadamente el almacenamiento para aumentar la superficie de transferencia de energía, se ha hecho una revisión exhaustiva de los posibles diseños de intercambiadores con cambio de fase, proyectos de investigación, patentes y artículos científicos relacionados. Fruto de esta investigación se ha propuesto un nuevo diseño de almacenamiento con cambio de fase.

Para sistemas de almacenamiento con calor sensible, se está llevando a cabo un análisis de sensibilidad del comportamiento de almacenamientos con tanques termoclinos. Para ello se utiliza un modelo de simulación, previamente desarrollado por el CIEMAT, en entorno Matlab. Con este estudio se está analizando la influencia que tiene el utilizar diferentes materiales de almacenamiento, características del relleno –si lo hubiere-, la porosidad del mismo, condiciones de trabajo, etc.

Evaluación experimental de componentes, equipos y procedimientos.

Durante el año 2010 se ha trabajado en la construcción y puesta en marcha de la Planta Experimental para Almacenamiento Térmico mediante Sales Fundidas de la PSA. Se espera que esta instalación entre en funcionamiento antes del verano de 2011.

En el proyecto SFERA, del 7º Programa Marco, se ha trabajado en la definición de los parámetros característicos y tipos de almacenamiento térmico. En la misma línea, el CIEMAT ha colaborado en la estandarización de las metodologías de caracterización de componentes para plantas termoeléctricas en comités internacionales (como el PTC-52 de ASME o el STAMP de SolarPACES) y nacionales (AENOR). En todos ellos hay un grupo de trabajo específico para almacenamiento térmico.

Colaboraciones con otros centros nacionales e iniciativas internacionales.

En el 2010 el CIEMAT ha colaborado activamente en la conformación de las nuevas iniciativas europeas EERA (European Energy Research Alliance, cuyo objetivo es el fortalecimiento de las capacidades de investigación en la Unión Europea a partir de programas conjuntos entre centros de investigación) y KIC (Knowledge and Innovation Communities, red estratégica en busca de la planificación conjunta de la innovación a medio-largo plazo con el objetivo de

cumplir los desafíos del Instituto Europeo de Innovación y Tecnología, EIT). De los cuatro proyectos KIC seleccionados en 2010 por la Comisión, uno es sobre almacenamiento térmico y, durante el 2010, este proyecto ha sido liderado y coordinado por el Ciemat.

A nivel nacional se ha firmado un acuerdo de colaboración con la Fundación Centro de Investigación Cooperativa en Energía - CIC energiGUNE en el área del almacenamiento de energía (electroquímica, térmica de alta temperatura y mediante ciclos termoquímicos).

Publicaciones: [3.4]-[3.5]

3.2.7 Elaboración de normas para sistemas de concentración solar

Participantes: CIEMAT y otras entidades públicas y empresas españolas
Contacto: Javier León, javier.leon@psa.es
Presupuesto total: Al no existir financiación externa, el presupuesto se va librando internamente según las necesidades de cada año, sin existir un presupuesto total previo
Duración: Enero 2010 – Diciembre 2012

Motivación: 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 a final del año 2009 se pusieron en marcha diversas iniciativas en Estados Unidos y en Europa para elaborar dicha normativa. En particular, a nivel de España, diferentes centros de investigación termosolar nacionales, entre los que encontraba lógicamente el CIEMAT, impulsaron la puesta en marcha, con la colaboración de AENOR, Asociación Española de Normalización y Certificación, de una actividad tendente a la elaboración de normas de ámbito nacional que den respuesta al vacío existente en la actualidad.

Objetivos: Elaboración normas nacionales para los sistemas solares de concentración.

Actividad en 2010: Tras una propuesta presentada a AENOR por parte de un grupo en el que se encontraban representados la industria relacionada con el mercado y los organismos relacionados con la investigación termosolar, el 2 de Marzo de 2010 se creó en AENOR el subcomité SC 1 "Sistemas de Energía Solar Termoeléctrica" integrado en el comité técnico AEN/CTN 206 "Producción de Energía Eléctrica". La intención era crear una o varias normas que permitieran fijar los límites en los que moverse en este momento de despegue de la tecnología en España en el plazo de dos años.

Para ello, dentro del subcomité, se han creado tres grupos de trabajo encaminados a desarrollar los trabajos en paralelo:

- GT-1: Central Solar Termoeléctrica. Aspectos normativos relacionados con la central termosolar de producción de electricidad como un todo.
- GT-2: Componentes de la Central Eléctrica Termosolar. Aspectos normativos relacionados con componentes específicos de una central de estas características.
- GT-3: Caracterización del medio de Almacenamiento Térmico para Aplicaciones de Concentración Solar. Aspectos normativos que permitan caracterizar el medio de almacenamiento y componentes específicos.

En Abril de 2010 tuvieron lugar las diferentes reuniones de lanzamiento, habiéndose producido reuniones posteriores cada dos o tres meses en las que se ha ido desarrollando tanto la composición como la distribución de subpaquetes de trabajo con la siguiente distribución:

Grupo de Trabajo 1

La guía de trabajo para abordar la normalización en este grupo es:

- Normalización del procedimiento para la realización de estudios de viabilidad de centrales eléctricas termosolares
- Normalización de la aceptación preliminar de la central eléctrica termosolar
- Normalización de la aceptación definitiva de la central eléctrica termosolar
- Normalización de los parámetros energéticos para el seguimiento operativo de la central

Como parte del trabajo de este grupo se creó el subgrupo "Datos Meteorológicos para Plantas Solares Termoeléctricas" cuya finalidad es la de definir la terminología y los procedimientos de generación de series meteorológicas con el objeto de realizar la simulación de plantas solares termoeléctricas.

Grupo de trabajo 2:

Este grupo aborda la normalización sobre la caracterización de los captadores solares térmicos de concentración y sus componentes para lo que se han creado los siguientes subgrupos:

- Reflectores solares
- Tubos receptores
- Estructuras
- Sensores específicos
- Seguidores
- Fluidos de trabajo
- Juntas y otros elementos

Grupo de Trabajo 3:

Esta norma establece la metodología para la realización, en primer lugar, de los ensayos de caracterización de las propiedades térmicas del medio material (sensible o latente) de acumulación de energía de un sistema de almacenamiento térmico para centrales termosolares, así como sus límites de trabajo (temperatura, presión, grado de impurezas, etc); y, en segundo lugar, de los ensayos de ciclado térmico (acelerados o no) que permitirán conocer la estabilidad termoquímica de dicho material, estableciendo su vida útil en condiciones de servicio.

Por último, y como tarea común a todos los grupos, se ha creado un vocabulario específico para las tareas desempeñadas partiendo de la norma ISO 9488:1999 titulada "Energía Solar Vocabulario". Cada grupo ha definido las palabras no recogidas en las norma y ha adaptado las presentes de forma que, una vez depuradas las definiciones, se unificarán para crear una única relación de vocablos.

3.2.8 Otras actividades del Grupo de Media Concentración en 2010

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 en el año 2010 otras actividades, como son:

- Evaluación de nuevos captadores cilindroparabólicos y componentes para estos sistemas. Las caracterizaciones realizadas durante el año 2010 han abarcado desde la caracterización geométrica de facetas y estructuras de captadores cilindroparabólicos para determinar el factor de interceptación mediante fotogrametría, hasta la determinación de los parámetros característicos de un captador, i.e. rendimiento óptico pico, modificador por ángulo de incidencia y rendimiento térmico. Estos trabajos se han realizado en el ámbito de acuerdos de colaboración confidenciales con empresas y por tanto no es posible dar más información sobre lo realizado y resultados obtenidos en el año 2010 en relación con esta actividad.
- Mejora de la metodología y códigos para el modelado y simulación de centrales solares termoeléctricas con captadores cilindroparabólicos y generación directa de vapor, utilizando el entorno de programación Matlab/Simulink®. Se han realizado estudios termo-hidráulicos preliminares de distintas configuraciones de lazo de captadores utilizando unos captadores de referencia, incluyendo análisis de sensibilidad en función de determinadas condiciones de operación y parámetros geométricos de los captadores, con el objeto de determinar las pérdidas de carga que se producen en los distintos casos estudiados.
- Diseminación de la tecnología de captadores cilindroparabólicos: 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 una nueva edición del Curso sobre "Sistemas Solares de Concentración" impartido en Madrid en Octubre de 2010.
- Asesoramiento a promotores, fabricantes de componentes y equipos e ingenierías involucrados en la tecnología de captadores cilindroparabólico. El número de empresas españolas y extranjeras interesadas en esta tecnología ha seguido siendo importante durante el año 2010. 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 el año 2010 han sido numerosas las empresas que han venido a la PSA para recabar información y asesoramiento. Aunque nuestros recursos disponibles para esta actividad son limitados, nuestra intención es seguir dando a las empresas el máximo apoyo que nos sea posible en este sentido.
- Aparte de la actividad sobre normalización a nivel nacional llevada a cabo dentro del marco de AENOR en el año 2010, el GMC ha participado también en otras iniciativas similares pero de ámbito internacional, como las promovidas por la American Society of Mechanical Engineers (ASME) en EEUU, y la promovida por el National Renewable Energy Laboratory (NREL) y el DLR bajo los auspicios del SolarPACES. En todas estas iniciativas sobre normalización, el GMC está participando para aportar su experiencia y conocimiento sobre los sistemas solares térmicos de concentración.

Publicaciones: [3.6]-[3.12]

3.3 Grupo de Alta Concentración

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

La actividad del Grupo de Alta Concentración Solar (GACS) se centra fundamentalmente en los sistemas de Receptor Central, pero incluye también actividades relacionadas con otros sistemas de foco puntual que permiten altos flujos solares como los Disco-Motor o los Hornos Solares. El despliegue comercial de plantas solares termoeléctricas de Receptor Central (STE-RC) se inició tímidamente en España, con la inauguración de PS10 (2007) y PS20 (2009) y se mantiene con la construcción de Gemasolar que, durante 2010, casi ha completado su construcción. A nivel internacional se observa, a finales de 2010, un renovado interés por las plantas de foco puntual, contabilizándose para la tecnología de Receptor Central: 4 plantas en operación (incluidas las dos españolas), 11 en construcción (6 de ellas en EE.UU.) y 22 en fase de proyecto (19 de ellas en EE.UU y 1 en España).

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, dispositivos de almacenamiento).

La experiencia acumulada ha servido para demostrar la viabilidad técnica del concepto y su capacidad para operar con altos flujos de radiación incidente (típicamente entre 200 y 1.000 kW/m^2), que permiten trabajar a altas temperaturas (entre 250ºC 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 Captadores Cilindroparabólicos, las plantas de Receptor Central ofrecen por un lado mayores eficiencias totales de conversión (asociadas a la operación con mayor concentración solar y mayor temperatura) 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 inversión 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 estimados 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 experiencia comercial de esta tecnología resulta, por lo tanto, esencial para la extensión del número de aplicaciones comerciales. En particular, la acumulación de experiencias y desarrollos han de contribuir a confirmar la fiabilidad, la durabilidad y la capacidad de reducción de costes de estas tecnologías STE-RC.

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, en torno a 100 m^2 y mas, con buena calidad óptica y menos coste específico de los dispositivos de seguimiento; o helióstatos pequeños, en torno a 10 m^2 con mejor ocupación del terreno y posibilidad de actuarlos en grupos).

Conscientes de la diversidad de opciones en competencia, sin que se tengan criterios claramente determinantes de elección, el 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 2010 además de la contribución a las actividades comunes de la USCS, como mejora de capacidades de I+D propias y formación tecnológica de terceros, el Grupo de Alta Concentración Solar, GACS, ha realizado tres tipos básicos de actividad:

- Colaboración en el desarrollo de Sistemas, lo que en el actual momento de despliegue comercial de estas tecnologías podría entenderse como un acompañamiento a las empresas que están promoviendo la primera generación de plantas comerciales solares termoeléctricas de Receptor Central, como PS10, PS20 o Eureka (con Abengoa Solar) o Solar Tres/Gemasolar (con Sener/Torresol). En este apartado se incluye el inicio de la instalación y caracterización de prototipos de pequeña planta de Receptor central o de Disco-Stirling.
- Participación en desarrollo de componentes para la tecnología de Receptor Central mediante la iniciativa o colaboración en proyectos nacionales (como SOLGEMAC, etc.) o internacionales (como SOLHYCO).
- Mejora de las capacidades experimentales y procedimientos de calidad (a través del proyecto 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)

A continuación se resumen las actividades llevadas a cabo por el GSCS en el año 2010.

3.3.1 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

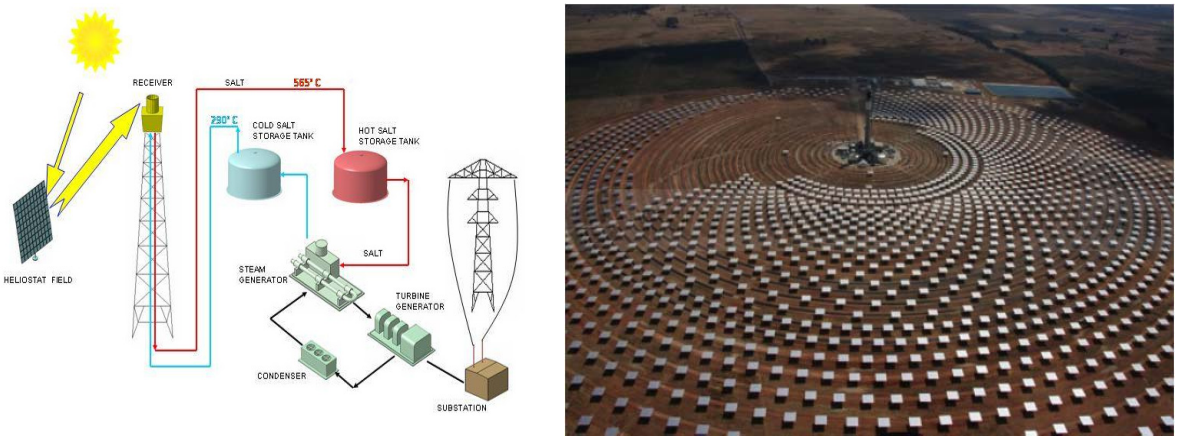


Figura 3.7 Esquema de funcionamiento de la planta GEMASOLAR y estado de las obras en 2010.

fluido refrigerante y almacenamiento térmico, promovido por Torresol Energy en Fuentes de Andalucía (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 2010: Durante todo el 2010, las labores de consultaría para Torresol Energy han aumentado notablemente debido a que GEMASOLAR se encontraba en la fase final de su construcción y sobre todo coincidiendo con la puesta en marcha de la misma que comenzó a finales de 2010. Dentro de las labores desarrolladas por el CIEMAT dentro del proyecto cabe destacar:

- Análisis de un sistema de medida de flujo solar incidente en el receptor y de control del mismo mediante cámaras termográficas.
- Preparación de un curso de capacitación de operadores de la instalación GEMASOLAR sobre nociones básicas de la tecnología solar de torre central y operación y mantenimiento de plantas termosolares de receptor central. Dicho curso será impartido en el primer trimestre de 2011.
- Estudio meteorológico del enclavamiento de la central GEMASOLAR: año tipo y fluctuaciones anuales de los últimos 20 años, así como modelos de predicción de radiación en el lugar.

Análisis metalográfico de los materiales del prototipo de receptor de sales que se ha estado ensayando en la PSA desde 2006 hasta finales de 2009 dentro del proyecto "Desarrollo del Panel de Sales" y análisis de la degradación de los mismos. El objetivo es inferir el periodo de vida útil de un receptor de este tipo sometido a ciclos diarios de enfriamiento y calentamiento bajo radiación solar de alta concentración.

Publicaciones: [3.13]

3.3.2 SATOHE: Almacenamiento de Sales en Torre solar con Helióstatos.

Participantes: GEMASOLAR, SENER, CIEMAT-PSA, Universidad de Almería (UAL)

Contactos: Juan Ignacio Burgaleta (ignacio.burgaleta@sener.es); Rafael Monterreal (rafael.monterreal@psa.es)

Financiación: Corporación Tecnológica Anadaluza-GEMASOLAR. (Acuerdo GEMASOLAR/UAL/CIEMAT). 525 k€.

Duración: Mayo 2008 a Diciembre de 2011

Objetivos: El proyecto tiene dos objetivos específicos:

A. Desarrollo tecnológico de un sistema de transferencia y almacenamiento de calor por sales fundidas para su aplicación en una planta solar térmica de torre para generación de energía eléctrica en ciclos de Rankine de alta eficiencia.
B. Verificar y validar el nuevo helióstato desarrollado por el Grupo SENER para ser utilizado en la planta GEMASOLAR.

El segundo objetivo es el que ha centrado la contribución del GACS, siendo los sub-objetivos más relevantes: i) Minimizar el coste de fabricación; ii) Reducir los tiempos de montaje e instalación en el campo solar; iii) Alcanzar altas prestaciones en precisión de apunte; iv) Adecuado seguimiento durante todas las horas solares y a lo largo de las diferentes épocas del año.

Logros en 2010: A lo largo del año 2010 se ha llevado a cabo la campaña de ensayos y evaluación realizados al helióstato SATOHE diseñado por la empresa SENER. El banco de pruebas ha sido la Plataforma de Ensayos de Prototipos de Helióstatos de la PSA (Figura 3.8). Los ensayos pretenden cuantificar las características funcionales del prototipo de helióstato, tanto en su capacidad de apunte a un blanco fijo a lo largo del día, como en su calidad óptica, es decir, en su capacidad para concentrar la radiación solar.

El desarrollo de los ensayos ha seguido el Protocolo de caracterización óptica y de calidad de apunte elaborado por la PSA para este fin (Tabla 3.1), con una duración de la campaña de ensayos de unos 6 meses.

El sistema de control permite operar el helióstato en modo remoto, desde la sala de control CESA.1, situada a 380 m de distancia del helióstato. La Figura 3.10 muestra el diagrama de bloques del sistema de caracterización de helióstatos de la PSA, denominado ProHERMES 2.A, que comprende tanto la medida de la capacidad de concentración del helióstato, como la de su apunte. La Figura 3.10 muestra la imagen del helióstato SATOHE a mediodía solar del día 21 de julio de 2010, proyectada sobre el blanco de ensayos de la torre

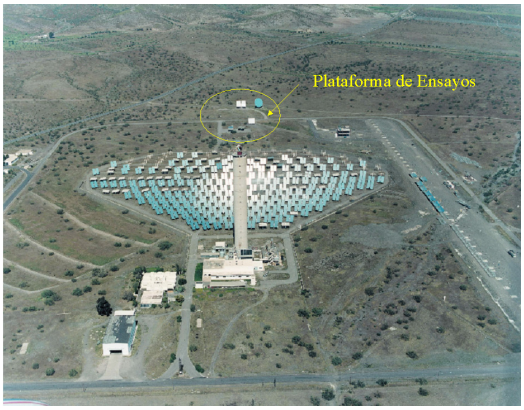


Figura 3.8 Emplazamiento Plataforma de Ensayos de Helióstatos en la PSA

Figura 3.9 Vista frontal del helióstato SATOHE en seguimiento normal

Tabla 3.1 Estructura del Protocolo de Ensayos de las características funcionales de un prototipo de helióstato

OBJETIVO DE CARACETRIZACIÓN:		TIPO ENSAYOS
I	Control Local	E1. Comportamiento del control local ante consignas
II	Calidad óptica	E2. Ensayos de calidad óptica de las facetas E3. Ensayos de calidad óptica del helióstato E4. Ensayos de evolución diurna de la calidad óptica del helióstato
III	Calidad de Apunte	E5. Ensayos de calidad de apunte del helióstato en las horas centrales del día E6. Ensayos de repetitividad en el apunte del helióstato E7. Ensayos de evolución diurna de la calidad de apunte del helióstato

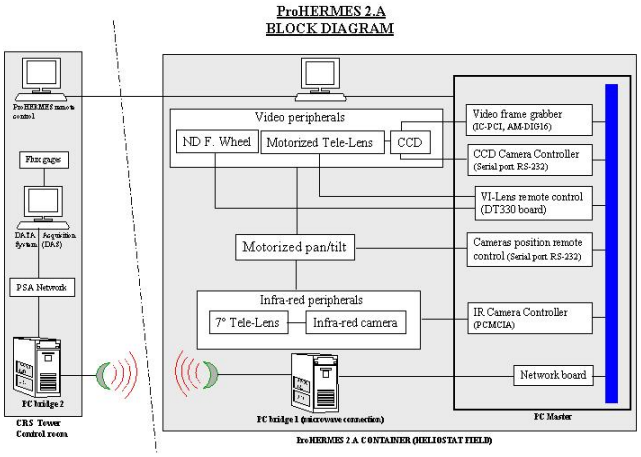


Figura 3.10 Diagrama de bloques del sistema de caracterización de helióstatos ProHERMES 2.A

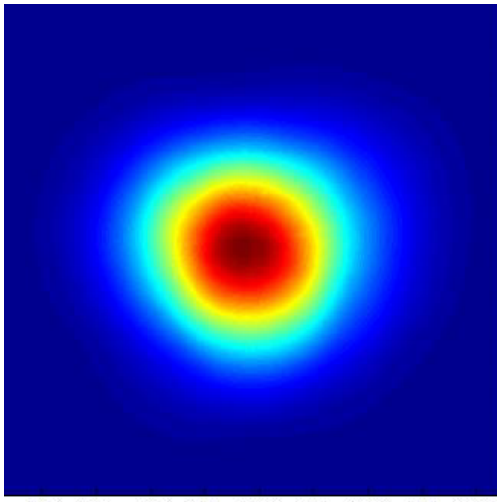


Figura 3.11 Imagen del helióstato SATOHE correspondiente al mediodía solar del 21-07-2010

CESA-1.

La imagen sintética del helióstato, ha sido generada con el código Fiat_Lux, desarrollado en la PSA para este propósito, a partir del modelo de helióstato y la proyección del disco solar en las condiciones del ensayo.

3.3.3 SolHyCo (SOLar HYbrid power and COgeneration plants)

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

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

Financiación: Comisión Europea dentro del Sexto Programa Marco (nº Contrato 019830). 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 queroseno por un carburante Diesel de 100% origen biológico ("biodiesel").

La segunda etapa se ejecutó 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 y apto para el uso de 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. Sin embargo, debido a importantes problemas en la fabricación de estos tubos, finalmente no se podían ensayar y el receptor tuvo que funcionar con tubos convencionales.

Logros en 2010: La instalación de los componentes del Work Package 5, el receptor de tubos y la turbina Turbec de 100 kW, se completó en otoño 2009. Las pruebas de puesta en marcha duraron todo el invierno 2009/2010 debido a varios problemas de hardware y de control, como una paleta del estator de la turbina levemente dañado o el malfuncionamiento de la bujía. Un problema importante fue el muy largo tiempo necesario para precalentar al receptor sin sol en la fase de arranque al principio de cada ensayo. Eso se solucionó dándole un "precalentamiento solar" al receptor antes de cada ensayo, enfocando unos pocos heliostatos. Otro problema inesperado fue que la diferencia de temperatura entre la salida del intercambiador de calor hacía el receptor y la salida de la turbina antes de este intercambiador estaba con unos 10 K sorprendentemente bajo. (La conexión entre los componentes se puede desprender de la Figura 3.12.) Como la temperatura de entrada en el receptor quedó limitada a 600°C por razones técnicas (de material), no fue posible operar la turbina en modo solar a toda potencia (100 kW) sino sólo con alrededor de 70 kW.

A finales de mayo de 2010, se alcanzó por primera vez una temperatura de salida del receptor de 700°C. En junio se consiguió operación estable hasta 780°C. La estimación previa de la eficiencia estaba debajo del 50%. Se identificaron tres causas: i) La primera fue la operación con reducido caudal másico del aire debido a las limitaciones de potencia en campo solar. ii) La segunda fue el diseño abierto de la cavidad del receptor. Convección libre, más convección forzada por viento se llevaron una importante cantidad del calor del sistema. Estas pérdidas redujeron sustancialmente gracias a la instalación de una ventana de cuarzo (Figura 3.14) que impidió el intercambio de corrientes de aire entre dentro y fuera del receptor a través de la apertura. Con esta ventana, la temperatura de diseño de 800°C fue fácil de alcanzar, y la eficiencia del receptor subió un 3%. Sin embargo, estos datos seguían muy lejos de

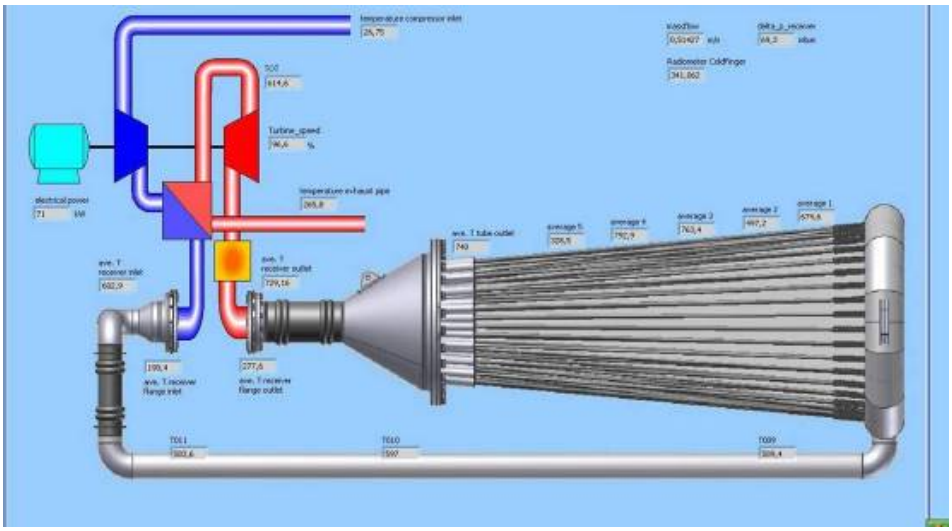


Figura 3.12 Pantalla del sistema de adquisición de datos.

lo previsto (se esperaba operando la turbina a 100% y el receptor a 800°C, en el caso sin ventana una eficiencia de 68% y con ventana de 81%). iii) La tercera y probablemente más importante razón para el bajo rendimiento del receptor fue el concepto de la pared exterior de la cavidad que sirvió de aislamiento. Debido a la expansión térmica de las placas aislantes y el diseño algo débil de la estructura, se abrieron huecos entre las placas que permitieron el escape del aire caliente desde dentro de la cavidad.

Figura 3.13 Ensayo solar en planta 65 m de Torre CESA-1.

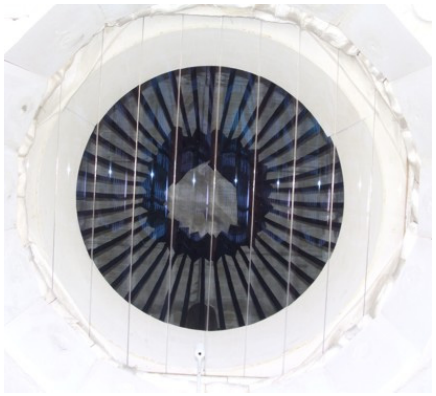


Figura 3.14 Apertura con ventana en receptor SolHyco.

No obstante, finalmente se consiguieron más de 165 horas de operación de esta turbina, con más de 100 horas con radiación solar concentrada, incluyendo 30 horas con la ventana de cuarzo.

Al finalizar el proyecto, se consideró una continuación de los ensayos con aislamiento rediseñado, pero finalmente, el DLR no consiguió financiación suficiente. En 2011, se desmantelarán el receptor y la turbina y probablemente se enviarán a Brasil para una posible nueva instalación del sistema.

Publications: [3.14]

3.3.4 I+D para la mejora de componentes clave en la tecnología de Receptor Central

Participantes: ABENGOA SOLAR NT, CIEMAT-PSA
Contactos: Félix Téllez (felix.tellez@ciemat.es);
Antonio Ávila (antonio.Avila@ciemat.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.

Objetivos: Los objetivos del apoyo del CIEMAT, actualizado parcialmente en 2010, consisten 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 protocolos de control del proceso, iii) en la simulación de las magnitudes a medir y de otras variables importantes en el proceso, iv) Análisis de sensibilidad de diseños opcionales de receptor y de configuraciones de campo solar.

Logros en 2010: i) Propuesta de instrumentación para la realización de diagnósticos de métodos de medida en receptor prototipo. Apoyo en generación de mapas de flujo incidente y comparativa de predicciones con códigos propios (Fiat_Lux). ii) Asesoría en métodos de operación y control del campo solar para optimizar el rendimiento. iii) Inicio de los análisis de sensibilidad de diseños opcionales de receptor y de configuraciones de campo solar. Con las capacidades de diseño disponibles, (WinDelsol, NREL-SAM, Macros-Excel y Matlab, etc.) abordamos la optimización óptico-térmica de los siguientes componentes:

- Solución optimizada de campo de helióstatos para una planta de receptor central tipo cavidad con y sin almacenamiento
- Solución optimizada de campo de helióstatos para una planta de recep-

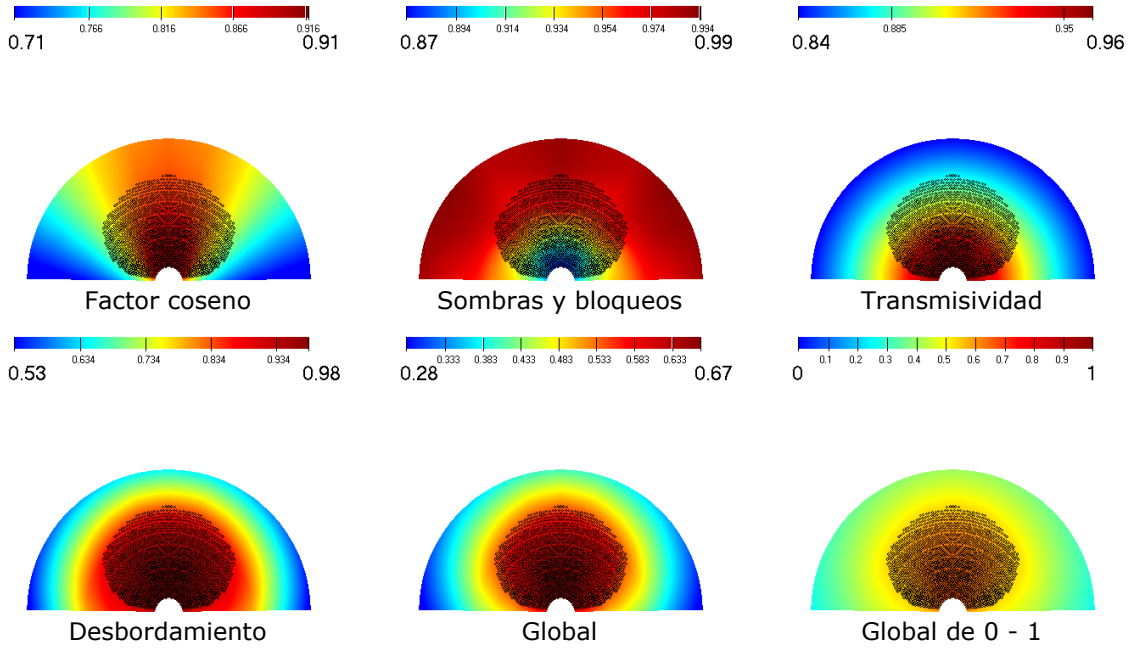


Figura 3.15 Caso ejemplo. Rendimientos ópticos de la planta de 50 MWe generada por WD junto con el campo de helióstatos propuesto.

tor central tipo exterior con y sin almacenamiento
- Propuesta de la apertura óptima de un receptor tipo cavidad para una planta con y sin almacenamiento
- Propuesta de las dimensiones óptimas –altura y diámetro- de un receptor tipo exterior para una planta con y sin almacenamiento

3.3.5 PROGRAMA DE I+D SOLGEMAC

(Aprovechamiento Térmico de la Energía Solar de manera Gestionable, Eficiente y Modular en Sistemas de Alta Concentración)

Participantes: IMDEA-Energía (Coordinador), URJC, CIEMAT-SSC, CIEMAT-DQ, INTA, UAM, TORRESOL Energy Investment y Hynergreen Technologies

Contactos: Manuel Romero (Manuel.romero@imdea.org);
José González-Aguilar (jose.gonzalez@imdea.org) ;
Mónica Álvarez de Lara (monica.alvarezdelara@ciemat.es)

Financiación: Comunidad de Madrid. (Total del Proyecto 225.000,00 €/a. Total del Ciemat-PSA 48.500,00 €/a)

Duración: Enero 2010 – Diciembre 2013

Objetivos: Este Programa de I+D tiene por objeto general sentar bases científicas y tecnológicas para abordar el desarrollo de nuevos sistemas de aprovechamiento térmico y químico de la energía solar concentrada de forma más eficiente, gestionable y modular. Para ello se focaliza la investigación en la búsqueda de opciones tecnológicas que permitan desarrollar una futura generación de centrales y sistemas termosolares que abran el abanico de aplicaciones a nuevos ciclos termodinámicos y máquinas térmicas más eficientes y a procesos químicos endotérmicos a alta temperatura.
Estos objetivos generales se han abordado en cuatro áreas de actividad:

Act. 1. Sistemas Modulares de Concentración (Coordinador: IMDEA Energía)

Evaluación de todos los sistemas de concentración solar y su posibilidad de modularizacion: Sistemas de disco Stirling de alto rendimiento, sin consumo de agua y con potencias unitarias de 3-10 kW, sistemas Modulares Multitorre con el objetivo final de definición de un proyecto piloto de 100 kW, para implantación y ensayo en la Comunidad de Madrid y Solarización de una microturbina de gas para su uso en minitorres solares.

Act. 2. Receptores/reactores solares para alta concentración y temperatura (Coordinador: CIEMAT-SSC).

La modularidad lleva asociada la necesidad de desarrollar receptores y reactores para operar con mayores flujos de radiación solar concentrada. Se pretende diseñar y evaluar receptores volumétricos metálicos y cerámicos para seleccionar el más adecuado y receptores de partículas.

Act. 3. Sistemas de almacenamiento de energía para centrales termosolares de generación distribuida (Coordinador: URJC)

Para optimizar la gestión de suministro de energía según la demanda. Se están investigando cuatro grandes líneas: Desarrollo de *ciclos termoquímicos*

para producción de hidrógeno basados en pares redox con óxidos $M_xCe_{1-x}O_2$, Mn_2O_3/MnO, $[MxMe_1\text{-}xFe_2O_4]$, *almacenamiento de hidrógeno en materiales organometálicos tipo MOF* y *almacenamiento electroquímico en baterías de flujo y baterías avanzadas*. Esta actividad ocupa todo el proyecto, este primer año se ha comenzado la síntesis y evaluación de las propiedades fisicoquímicas y termodinámica de óxidos mixtos, la síntesis, modificación y estudio de compuestos MOF existentes en la bibliografía y se están sintetizando y caracterizando los compuestos químicos para desarrollar electrodos por recubrimientos con capas finas de óxidos semiconductores y/o moléculas orgánicas conductoras.

Act. 4. Integración (Coordinador: INTA):

En esta actividad pretende realizar una *comparativa de opciones tecnológicas* en cuanto a su grado de desarrollo y madurez**,** la *integración* de los diferentes sistemas de concentración, en territorios de alta ocupación y por último un *análisis de ciclo de vida* según las normas ISO 14040 para determinar la conveniencia de la integración de sistemas de generación distribuida frente a centralizado y un análisis detallado de impacto medioambiental, económico y social. Se utilizará la herramienta informática SimaPro y la base de datos Ecoinvent. Aunque la actividad empieza a partir del mes 36, se ha realizado una comparación de todas las tecnologías a gran escala.

Logros en 2010: Las actividades se iniciaron en Enero de 2010 y podemos resaltar los avances en cuatro apartados:
Actividad 1: Hasta la fecha se ha puesto a punto y se están validando las herramientas de simulación, de diseño óptico y análisis de sensibilidad para sistemas disco-Stirling, con desarrollos en Excel-macros y "validación" frente herramientas disponibles como STEC-TRNSYS y SAM
Actividad 2: Como resultado destacable se está finalizando la puesta a punto de un banco de ensayos para la caracterización térmica de absorbedores y receptores solares volumétricos y se pretende, al final del proyecto, haber desarrollado prototipos de receptores que permitan cubrir temperaturas entre 700-1300ºC con alta eficiencia térmica.

En los receptores de partículas para producción de H_2 con óxidos mixtos metálicos se ha finalizado el diseño y montaje de la instalación de ensayos con radiacion solar. Además, en el marco del desarrollo de estos nuevos receptores, es importante conocer el comportamiento de los materiales utilizados. Para ello se deben entender los procesos de degradación de los materiales en estas condiciones de operación y establecer y desarrollar metodologías de envejecimiento apropiadas. En este primer año se ha puesto punto de la metodología de ensayos de durabilidad de materiales para receptores solares a alta temperatura.
Actividad 3: Se ha contribuido en evaluación sobre el empleo de *hidrógeno* en turbinas y *microturbinas* de gas, un análisis de microturbina de gas existente (potencia, tipo de ciclo, temperatura de trabajo, rendimiento,…) y un estudio termo-fluido-dinámico de un ciclo de gas con hidrógeno como combustible para poder llevar a cabo las optimizaciones posibles de la microturbina actual modificada para su funcionamiento con hidrógeno.
Actividad 4: Se ha participado en los informes de revisión del estado del arte con la puesta a punto de herramientas y metodología para análisis comparativo de tecnologías e impacto potencial de innovaciones sobre los costes.

Publicaciones: [3.15]

3.3.6 Estudio de Viabilidad de las Tecnologías de Receptor Central

Participantes: ACCIONA, INGETEAM, CENER, CIEMAT
Contacto: Félix M. Téllez (felix.tellez@ciemat.es)
Financiación: Acuerdo CENER/Ciemat (42 k€)
Duración: Enero-Diciembre, 2010

Antecedentes: A día de hoy, las tecnologías solares termoeléctricas de Receptor Central (STE-RC) todavía se encuentran en un contexto de implementación débil donde han de competir con otras alternativas. Este escenario, junto a una cierta duda sobre las perspectivas regulatorias de apoyo a la tecnología, obliga a revisar continuamente los análisis de viabilidad comparativa (con otras opciones de inversión alternativas) para identificar oportunidades de desarrollo comercial/tecnológico a corto y medio plazo. Además, dentro de las tecnologías STE, las diferentes soluciones de diseño de las plantas de receptor central (RC) compiten entre sí dejando abierto a las ingenierías el reto de encontrar la solución que pudiera tener mayor recorrido en cuanto a rentabilidad o estrategia empresarial a corto y medio plazo. A pesar de que en España solo se tendrán 50 MW_e de estas tecnologías de RC conectados a red a finales de 2011, se está reactivando el interés con nuevos proyectos de plantas de hasta 50 MW_e por unidad. Esto se incorpora a un panorama internacional en el que está más igualado el despliegue de la tecnología de captadores cilindro-parabólicos y la tecnología de receptor central, dejando también su espacio en el mercado a la tecnología de disco Stirling.

Objetivos: Actualizar los análisis de viabilidad de las diferentes opciones tecnológicas de Receptor Central y acotar el impacto técnico-económico de innovaciones accesibles.

Logros en 2010: En 2010, en colaboración con CENER, se ha realizado una revisión exhaustiva del estado del arte desde elementos y componentes a sistemas de demostración y comerciales para STE de Receptor Central. También se han actualizado las herramientas de análisis de viabilidad.

Publicaciones: [3.16]-[3.19]

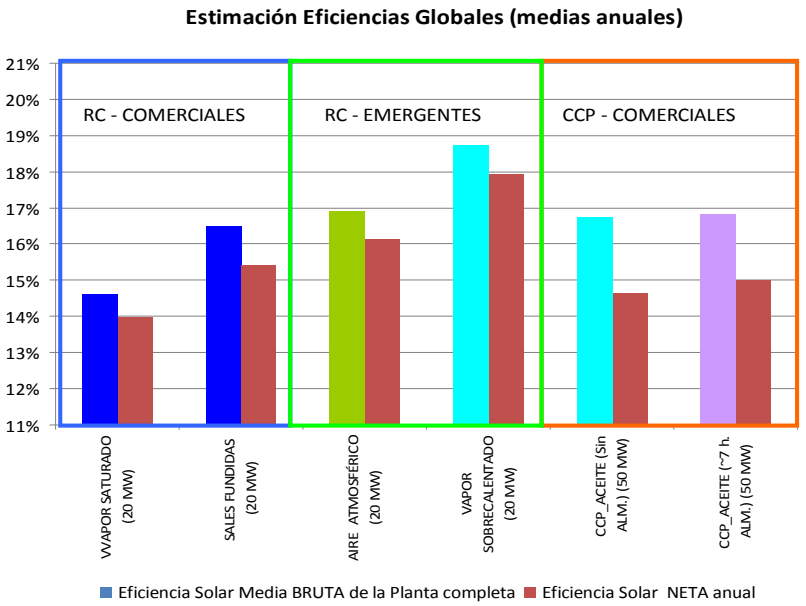


Figura 3.16 (Ejemplo) Estimación comparativa eficiencias globales de conversión en electricidad para varias Tecnologías.

3.3.7 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 este sentido se participa en el proyecto europeo SFERA dentro de la actividad "Flux and Temperature" para definir estándares en la medida de flujo y temperatura. Asimismo se están abordando otras cuestiones relacionadas con la radiometría tales como atenuación atmosférica de la radiación solar, medida del espectro solar, etc.

Durante la ejecución del proyecto MEPSOCON (**ME**dida de **P**otencia **SO**lar **CON**centrada 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, etc...

Figura 3.17 Calibración de detector IR en laboratorio.

En la PSA se llevan a cabo ensayos en los que se requiere la medida de altas temperaturas (>1000 ºC) 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 co-

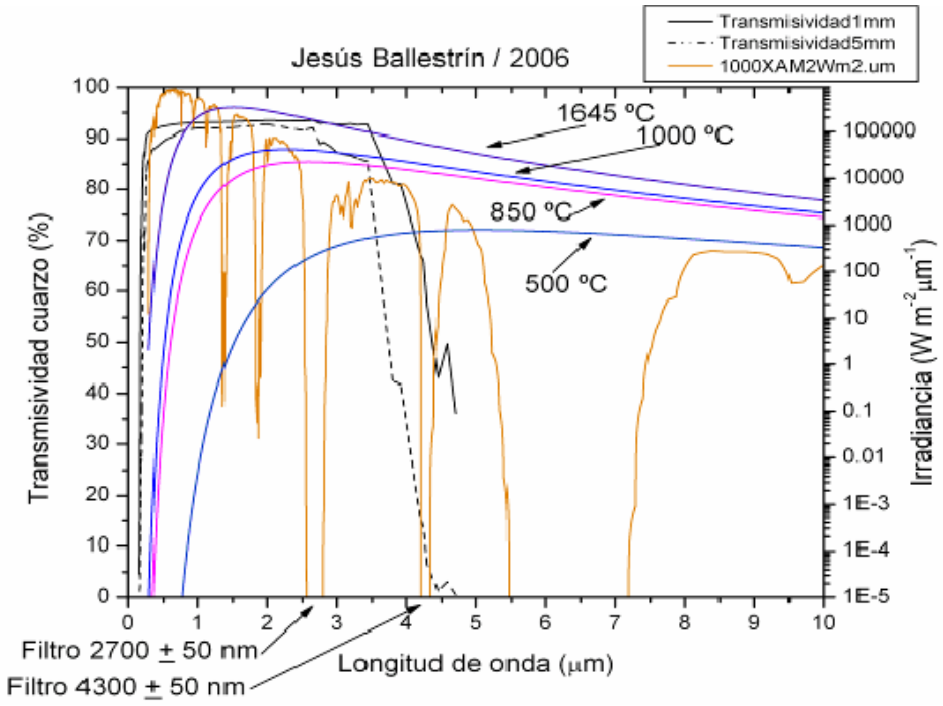


Figura 3.18 Problemática de la medida de temperatura superficial en el contexto solar.

rrectos. 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 [1] sin distorsión alguna por parte de la radiación solar reflejada (Figura 3.18). Los filtros pasa banda en las zonas de absorción solar atmosférica de 1900, 2700 y 4300 nm han mostrado que si bien en estás bandas de absorción son "solar-blind" cualquier variación en la distancia y humedad que difiera de las condiciones de calibración afecta a la medida. Se ha conseguido definir, diseñar y validar una cámara IR con filtros pasa banda en dos estrechas regiones espectrales "solar-blind" fuera de bandas de absorción atmosférica y por tanto insensibles a cambios en la distancia y humedad. Estas dos zonas espectrales son solar-blind debido a que los espejos anulan la radiación solar en esas zonas. Una de estas bandas permite medir temperatura a través de ventanas de cuarzo y la otra permite medir la temperatura de la venta de cuarzo. El cambio de filtro se lleva a cabo de forma automática mediante un software que actúa sobre la rueda de filtros.

En colaboración con el grupo de la estación meteorológica de la PSA se continúa con los estudios de caracterización de irradiancia solar espectral. Se han iniciado estudios de atenuación atmosférica de la radiación solar con el código MODTRAN.

Publicaciones:[3.20]-[3.23]

3.3.8 Actividades en Laboratorio de 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 SOLARNOVA (Plan-E), Proyecto SFERA (CE) y Fondos Propios. (~200 k€)
Duración: 2009-… (Actividad Continuada)

Antecedentes: Una de las incertidumbres de los sistemas de torre central es el comportamiento tras largos periodos de operación y la durabilidad de los materiales y componentes que se encuentran sometidos a altos flujos de radiación solar incidente y temperaturas de hasta 1000^{o}C, con ciclos diarios calentamiento/enfriamiento. Uno de los componentes principales son los 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 puso en marcha una línea de investigación estratégica en durabilidad de materiales sometidos a altos flujos solares y 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 alto flujo solar y a alta temperatura, 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.

Logros en 2010**:** Durante el año 2010 se han mejorado y adaptado algunas instalaciones para la realización de ensayos de ciclado térmico y envejecimiento acelerado de materiales bajo condiciones reales de radiación solar concentrada. En esta línea, la instalación de discos parabólicos de la PSA, un disco DISTAL-I y tres DISTAL-II, ha sido adaptada para la realización de este tipo de ensayos:

- El sistema de control de los discos ha sido cambiado por un nuevo equipo con un PLC que permite el control del movimiento para seguir el sol todo el día y además permite el control del ensayo de ciclado, enfocando o desenfocando el disco según los requerimientos del ensayo.
- Se ha instalado en los discos un nuevo motor azimutal y de elevación.
- Todos los discos se han introducido en una red interna de fibra óptica que permite el control remoto de los experimentos

Para la realización de los ensayos de materiales en el DISTAL I, se ha puesto un soporte especial de ensayo para el ciclado automático. Además, para poder adaptar el flujo solar a los requerimientos específicos de cada ensayo este soporte tiene la posibilidad de desplazarse a lo largo de la distancia focal radial. Para ello se ha caracterizado el mapa de radiación en diferentes distancias focales en función de la irradiancia en dirección normal (DNI). En cuanto al control de la temperatura de ensayo, se ha concluido un sistema que permite la refrigeración de las muestras con aire y el control de la temperatura durante los ensayos de ciclado térmico y se ha instalado un sistema de persiana permite realizar ciclados rápidos para la simulación de choque térmicos.

Figura 3.19 Aspecto del DISTAL-II con el nuevo equipamiento y detalle de la caja de control

Figura 3.20 Aspecto del DISTAL-I con el nuevo sistema automático de ciclado térmico.

También se ha finalizado la actualización del laboratorio de caracterización de materiales metálicos de forma que se puede llevar a cabo la preparación de muestras metálicas con acabado metalográficas y la realización de los diferentes ataque metalográficos que permiten realizar el examen post-ensayo para identificar y comparar el comportamiento de los materiales tras su ensayos en condiciones reales o simuladas de los receptores. (Preparación de muestras para microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido,…)
Publicaciones: [3.24]-[3.25]

3.3.9 Mejoras y Actividades en la Torre CESA-1

Participantes: CIEMAT-PSA (E).
Contactos: Raul Enrique Orts (raul.enrique@psa.es)
Financiación: Fondos FEDER, Proyecto SOLARNOVA (Plan-E) y Fondos Propios.
Duración: 2009-… (Actividad Continuada)

Logros en 2010: La instalación CESA-1 ya descrita en esta memoria se ha beneficiado de varias partidas de fondos para mejora de infraestructuras cuya orientación y ejecución ha sido gestionada por el GACS. Entre las mejoras realizadas en 2010 destacamos:

Figura 3.21 Ejemplos actuaciones en Instalación Cesa-1 en 2010.

- Los trabajos en la sala de aparamenta, donde se reacondicionó la sala, se limpió de mangueras en desuso, se instalaron nuevos armarios y baterías de condensadores.
- El en campo Cesa-1 se instalaron las nuevas cajas de control y se cantearon 150 helióstatos, después de elaborar un procedimiento de canteo y diseñar el equipo.
- Desmontaje del blanco del proyecto Hermes, e instalación de una nueva estructura que diera soporte al proyecto Solsyn.
- Desmontaje del receptor de sales fundidas y vaciado del tanque de sales.
- Reparaciones en equipos existentes como el anemómetro y pirheliómetro, arquetas en el campo, e instalación de 2 nuevas cámaras para vigilancia del paso de nubes y del campo de helióstatos durante la operación.

3.3.10 Actividades de Caracterización de pequeños sistemas de foco Puntual.

Contactos: Jesús Fernández-Reche (jesus.fernandez@psa.es)
Financiación: Acuerdos de colaboración o contratos con empresas y/o instituciones públicas.
Duración: Enero de 2010- ...

Antecedentes: La Plataforma Solar de Almería, ha desarrollado a lo largo de los años, una serie de metodologías de modelado, ensayo y caracterización de sistemas termosolares de foco puntual: Simulación de campos de heliostatos, medida de flujo solar y potencia total en el plano focal de sistemas de torre, discos parabólicos, caracterización geométrica de superficies reflectantes, etc.

Con el auge del mercado termosolar, son numerosas las empresas, tanto promotoras como fabricantes de componentes, que acuden a la PSA con el objeto de simular y evaluar pequeños prototipos de plantas de torre o de discos parabólicos, para que les asesoremos en el desarrollo de nuevos componentes, etc.

En todos estos casos, son de directa aplicación todos y cada uno de los procedimientos y metodologías desarrollados por el CIEMAT en la PSA con el paso de los años. Por lo que se firman una serie de acuerdos de colaboración o contratos de investigación con numerosas empresas, tanto nacionales como foráneas, para la asesoría, caracterización o apoyo en el desarrollo de sus productos.

Logros en 2010: Colaboración con AORA SOLAR S.L.: La empresa AORA SOLAR promueve un prototipo de platas solares de torre central de baja potencia (100kWe) y muy modulares. Estas plantas constan de un pequeño campo de heliostatos que concentra la radiación solar sobre un receptor solar volumétrico presurizado para calentar aire y alimentar un ciclo Brayton con una turbina de gas. Este concepto de plantas permite la fácil hibridación de las mismas, empleando gas natural en los momentos en los que la radiación solar no se encuentre presente.

Durante 2010, el CIEMAT ha firmado un contrato de investigación con AORA SOLAR donde colaboramos en el diseño, caracterización, ensayo y evaluación de un prototipo de planta solar de torre central que se va a instalar en la PSA.

En concreto, durante el año 2010, los trabajos se han enfocado en el diseño del campo de heliostatos y en el modelado del mismos, de manera que, con el empleo de algoritmos propios, podemos simular el comportamiento energético de dicho campo de heliostatos para cualquier momento del año. A raíz de estos resultados, la disposición finalmente escogida de los heliostatos se empezará a montar durante el primer trimestre de 2011 para, posteriormente realizar, junto con AORA SOLAR, la puesta en marcha y la operación durante la campaña de caracterización y evaluación del sistema.

Colaboración con la DLR en puesta en valor de los prototipos de disco parabólico existentes en la PSA y para la caracterización de nuevos prototipos: desde principios de los años 90, en la PSA se han instalado y evaluado diversos prototipos de discos parabólicos para su ensayo y evaluación. Una vez finalizados los respectivos proyectos, dichos prototipos, bien se han desmantelado, bien se han mantenido en la PSA con un uso mínimo. Para poner en valor dichos prototipos, el CIEMAT y la DLR han firmado un acuerdo de colaboración que implica la renovación del hardware de los mismos (motores, cuadros de control, sensores, etc.), y la compartición del uso de los discos para actividades propias de investigación o colaboración con empresas que implican, entre otras: ensayos de envejecimiento acelerado y ciclado térmico de materiales y componentes, ensayo y evaluación de nuevos prototipos de motores Stirling, etc.

Una de las tareas desarrolladas durante 2010 ha consistido en la caracterización óptico-energética de dos de los 3 prototipos de discos parabólicos DISTAL-II con los que cuenta la PSA.

3.3.11 Otras actividades del Grupo de Alta Concentración Solar en 2010

Adicionalmente a las actividades de I+D descritas en los párrafos anteriores, el Grupo de Alta Concentración Solar de la Unidad de Sistemas Solares de Concentración de la PSA ha llevado a cabo en el año 2010 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 STE (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 el año 2010 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 Solar ha sido nuestra participación en las tres ediciones del Curso sobre "Sistemas Solares de Concentración" impartido en Madrid en 2010.
- 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

Dado el escaso nivel de autoabastecimiento energético en 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 país. 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 H_2 Solar y Solarización de Procesos Industriales.

Desde el punto de vista ambiental, el uso 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%.

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-3D "Scale Up of Thermochemical HYDROgen Production in a SOLar Monolithic Reactor: a 3rd Generation Design Study" cuyo objetivo principal es el estudio detallado de una planta solar termoquímica de 1 MW de potencia que produzca H_2 por disociación de agua.

También cabría algunas iniciativas de carácter nacional que han concluido recientemente como el proyecto SOLTER-H: "Generación de hidrógeno a partir de energía solar térmica de alta temperatura" proyecto en cooperación con la empresa Hynergreen, financiado por el Plan Nacional de I+D dentro de la Iniciativa PROFIT del Ministerio de Educación y Ciencia en las convocatorias 2004 (FIT-120000-2004-66), 2005 (FIT-120000-2005-56) y 2007 (FIT-120000-2007-23) que ha permitido realizar un estudio exhaustivo de las tecnologías de producción solar de H_2. O el proyecto PHISICO2, que con financiación de la Comunidad de Madrid tenía por objetivo coordinar las 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.

Estas iniciativas nacionales e internacionales demuestran la apuesta clara del CIEMAT por estas tecnologías. Desde 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 en tecnologías de producción de H_2 y las de combustible.

CIEMAT cuenta con una dilatada experiencia y grupos de trabajo para el desarrollo científico y tecnológico en sectores como la producción de H_2 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 sostenibles, 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 superiores a los 1.000ºC.

Las líneas de actividad en relación con el hidrógeno 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.

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 en el que se ha estado trabajando en la PSA. El objetivo de esta área de trabajo es demostrar la viabilidad tecnológica del uso de la energía solar térmica como aporte energético en diferentes procesos industriales cuyo denominador común es la alta temperatura. El trabajo llevado a cabo en la PSA en este campo ha propiciado el interés de un gran número de grupos de investigación, que han podido acceder a nuestras instalaciones mediante el Programa de Acceso financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación.

En este informe se resumen algunos objetivos, todavía vigentes, del proyecto SOLARPRO (2003-2007) que supuso el inicio de la investigación en este campo, pero en la PSA se siguen abordando nuevos objetivos también.

3.4.1 SYNPET
Proyecto de gasificación solar de coque de petróleo

Participantes: El proyecto de gasificación solar de coque de petróleo es una colaboración entre la empresa Petróleos de Venezuela (PDVSA), el Instituto Tecnológico de Zurich (ETH) y CIEMAT.
Contacto: Luís Zacarias, Luis.zacarias@pdvsa.com
Contacto PSA : Thorten Denk, thorsten.denk@psa.es
Financiación: Proyecto financiado por los socios, con participación mayoritaria de PDVSA. Presupuesto total: $6.950 k. Presupuesto CIEMAT: $1.940 k.
Duración: 1 de septiembre de 2002 – 28 de Febrero de 2011

Motivación: El proceso de gasificación solar presenta algunas ventajas importantes para su solarización, dado que se trata de un proceso fuertemente endotérmico, lo que permite aprovechar al máximo el aporte de calor procedente de la radiación solar. Otra ventaja innegable es el hecho de que la gasificación es un proceso conocido, habitualmente utilizado en la industria y con tecnologías totalmente probadas y desarrolladas. La solarización a corto plazo de estos procesos de producción de H_2, plantea problemas técnicos inherentes al uso de la radiación solar, es decir, adaptación de estos procesos a las variaciones típicas del flujo de la energía solar, especialmente en el desarrollo de receptores/reactores.

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.

Logros en 2010: Durante el año 2010 se ha continuado la campaña de ensayos. En líneas generales la situación actual de la planta SYNPET es buena habiéndose detectado escasos desperfectos/malfuncionamiento de los equipos instalados durante la puesta en marcha. Como hecho relevante, es necesario destacar los datos del último ensayo donde se ha logrado alcanzar una temperatura en el interior del reactor de 1050ºC. La respuesta del aislamiento interior ha sido excelente, aunque también se han detectado algunos desperfectos (grietas, roturas, etc) en el cono frontal, lo que ha motivado su sustitución. Estos primeros ensayos se han realizado sin la ventana de cuarzo, habiéndose alcanzado flujos de irradiación de 1.5 MW/m^2.

Se han estudiado diferentes alternativas para una nueva configuración del cono central con los técnicos de la compañía Fleischmann (fabricante del material refreactario) y se ha optado por una configuración modular basada en dos filas de ladrillos (Figura 3.22), que permite amortiguar las tensiones originadas en el cono frontal debido a los altos flujos incidentes. Se han utilizado los mismos materiales que los utilizados en la primera fase del proyecto: Alúmina cerámica FISA-CAST 190 y 170.

Los ensayos se han iniciado durante este año con esta nueva configuración, habiéndose alcanzados resultados bastante esperanzadores de cara a su durabilidad.

Por otro lado es necesario indicar que este proyecto en su conjunto ha supuesto una completa revisión de algunos conceptos: el diseño de una nueva estructura de ventana de cuarzo para grandes aperturas y el diseño de nuevos sistemas de recuperación del calor residual de los gases, teniendo en cuenta las características especiales de estos procesos (altas temperaturas y gran concentración de sólidos en la corriente de gas a la salida del receptor). 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 dos patentes en EEUU, correspondientes al proceso de gasificación y al reactor solar [3.28]. Asimismo en Junio de 2009 se ha procedido al envío de la documentación necesaria

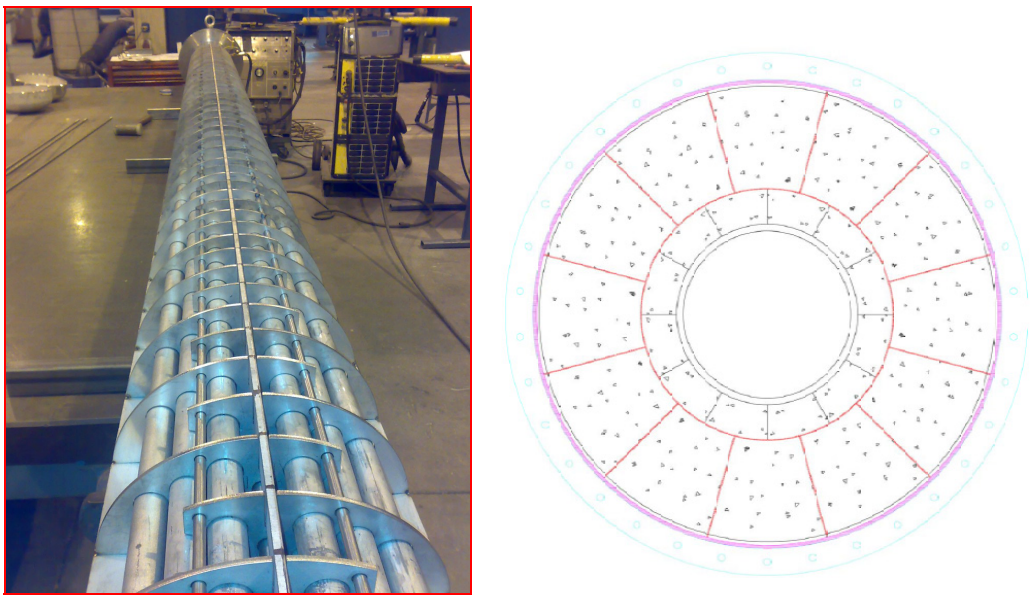


Figura 3.22 Fotografía del intercambiador situado a la salida del reactor SYNPET y configuración en forma de ladrillos de la apertura del receptor

para obtener una patente para la ventana de cuarzo empleada en esta aplicación. Un estudio detallado del diseño de la ventana se publicará en posteriores ediciones del Informe Anual.
Publicación:[3.26]-[3.30]

3.4.2 PHISICO2
Producción Limpia de Hidrógeno: Alternativas sin emisiones de CO_2.

Participantes: Universidad Rey Juan Carlos, CSIC, INTA, REPSOL, HYNERGREEN y CIEMAT.
Contacto: David Serrano; david.serrano@urjc.es
Contacto CIEMAT: Rocio.Fernandez; rocio.fernandez@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 2011

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.

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.

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.

Logros en 2010: A pesar de haber concluido oficialmente el proyecto en el año 2009, durante el año 2010 se ha terminado el montaje de la instalación solar con objeto de concluir la tarea de evaluación de las ferritas comerciales.

Durante el año 2010 se ha concluido, 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 ($NiFe2O_4$ Sigma-Aldrich), 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 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) (ver la siguiente Figura 3.23).

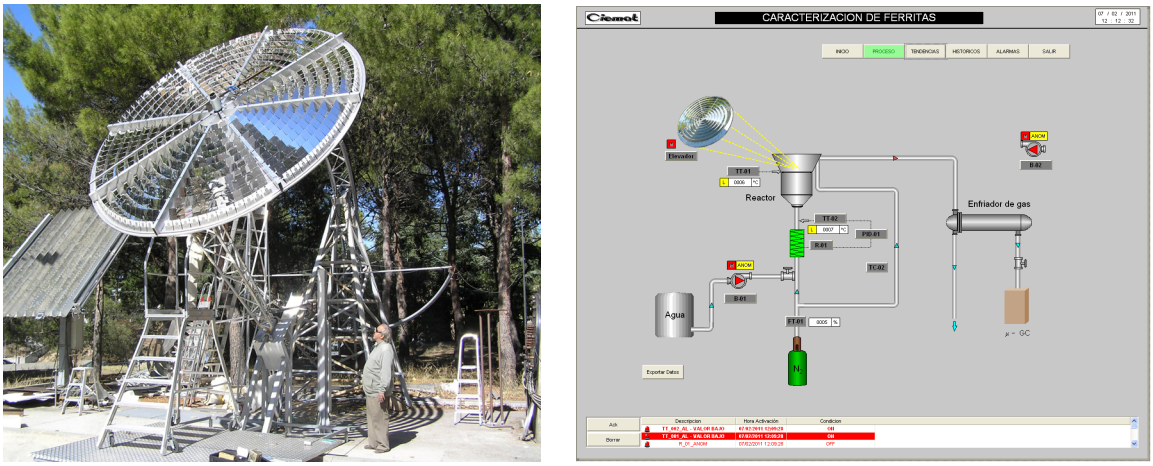


Figura 3.23 Fotografía de la Instalación y Esquema de control

La instalación consta de un cuadro donde se encuentra el SCADA que realiza todas las tareas de control y adquisición de datos. A continuación se resumen las principales características del SCADA.

- Un cuadro de control que incluye un controlador lógico programable (PLC) Phoenix Contact modelo ILC150ETH, con puerto Ethernet, switch para conexión entre PLC y ordenador, módulos de adquisición de datos para señales digitales y analógicas, tanto de entrada como de salida, y los elementos eléctricos (elementos de protección y maniobra, interruptores, relés, transformadores y fuentes de tensión continua, cableado, etc.) necesarios para alimentación, protección y maniobra. La programación del PLC se ha realizado mediante el software PcWorx de Phoenix Contact.
- Instrumentación de proceso: 2 termopares tipo K, uno para medir la temperatura de salida del gas de la resistencia calefactora y otro para la del reactor, con vaina de 6 mm de diámetro y 150 mm de longitud, cabezal DIN IP67 con convertidor 4-20 mA; sensor de caudal de gas con controlador integrado que permite la regulación y medida del caudal mediante entrada y salida 4-20 mA.
- Ordenador de control con sistema operativo Windows XP que contiene el Software SCADA VISU+ con licencia de ejecución, programado específicamente para el proceso, que permite monitorizar las señales de campo y gestionar la operación del proceso tanto en manual como en automático, con visualización de históricos, tendencias y alarmas. La comunicación de los valores de señales y órdenes con el PLC se realiza mediante el protocolo OPC a través de un servidor AX OPC Server instalado en el mismo ordenador.
- Cableado eléctrico y de señal de los distintos elementos del sistema, y canalización apropiada del cableado.

Se han iniciado los ensayos de fluidización a principios del 2011 y se está a la espera de su evaluación para conocer si el sistema se adapta a los requerimientos del proceso.

Publicación: [3.31]

3.4.3 Hydrosol-3D
Solar Hydrogen via Water Splitting in Advanced Monolithic Reactors for Future Solar Power Plants.

Participants: APTL (GR), DLR (D), CIEMAT (E), Total (F), HYGEAR (NL).
Contact: Christos Agrafiotis; chrisagr@cperi.certh.gr
Contact PSA: Alfonso Vidal; alfonso.vidal@ciemat.es
Funding: Cooperative project funded by the Joint Technological Initiative. 2008 Call. Total budget: 2,100 k€. CIEMAT Budget: 175 k€.
Duration: January 1, 2010 – Diciembre 30, 2012

Background: 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 es aprovechar la experiencia acumulada en el desarrollo de materiales y sistemas con matrices catalíticas utilizando SiC con canales monolíticos que fueron validados con éxito durante el proyecto SOLAIR. La impregnación de estas matrices cerámicas con ferritas mixtas permitiría utilizar el concepto de receptor/reactor volumétrico para su uso en la producción de hidrógeno. La posibilidad de utilizar este reactor monolítico con la ferrita fijada a un substrato facilita en gran medida la separación del oxigeno y el hidrógeno al realizarse en etapas alternantes de carga y descarga.

Objetivos: El objetivo principal del proyecto HYDROSOL-3D es el estudio detallado de una planta solar termoquímica de 1 MW de potencia que produzca H2 por disociación de agua. La idea principal proviene de la tecnología desarrollada y los logros alcanzados por sus proyectos predecesores HYDROSOL I e HYDROSOL II que han introducido el concepto de reactores solares monolíticos multi-canal en forma de panel de abeja para la generación de hidrógeno a partir de la rotura de la molécula de agua. El proyecto HYDROSOL 3D aprovechará toda la experiencia anterior, centrándose en el diseño de una planta comercial e incluirá todas las actividades necesarias para la construcción de una planta de demostración de 1 MW, basada en esta tecnología.

Resultados alcanzados en 2010: La segunda fase del proyecto predecesor del Hydrosol-3D (el proyecto Hydrosol-II) finalizó en Septiembre de 2009 y su objetivo era la evaluación de un receptor de 100 kW en una planta de torre central en la Plataforma Solar de Almería utilizando ferritas mixtas impregnadas sobre matrices cerámicas de SiC.

Durante el año 2010 se ha concluido la campaña de ensayos prevista. En la Figura 3.24 se observa la producción cíclica de H_2 obtenida durante los ensayos. Los mejores resultados obtenidos durante la campaña se corresponderían con conversiones del 30% de vapor de agua.

Los resultados han llevado a las primeras recomendaciones básicas con respecto a la estrategia de operación, especialmente sobre la estrategia de operación en un campo solar. Se ha demostrado con esta campaña de ensayos la capacidad operativa del reactor de HYDROSOL II en un campo de helióstatos con torre central para la producción semi-continua de hidrogeno.

Aprovechando lo anterior, HYDROSOL-3D se centra en la futura comercialización e implica todas las actividades necesarias para preparar la construcción de una planta solar de demostración de 1 MW, basada en la tecnología-HYDROSOL. A este respecto HYDROSOL-3D recogerá un pre-diseño de toda la planta incluyendo el reactor de hidrógeno solar y todas las unidades upstream y downstream necesarias para introducir los reactivos y separar los productos, así como el coste de de construcción de la planta y los costes de mantenimiento.

Este diseño se iniciará con el ajuste de la composición de los materiales y las configuraciones de reactores avanzados realizados en los Proyectos HYDROSOL e HYDROSOL-II, a fin de garantizar la durabilidad necesaria y los rendimientos aceptables desde el punto de vista comercial.

Los reactores diseñados y las estrategias de control serán validados por experimentos que abarcarán desde el laboratorio a pequeña escala a reactores piloto integrados en las instalaciones de la torre solar, con el fin de verificar plenamente su transferibilidad a una operación a gran escala. En paralelo, el diseño de una software de de control con sus algoritmos y controladores necesarios para el funcionamiento automatizado de dicha planta, se desarrollarán e integrarán en un software de simulación de procesos.

Se analizarán dos escenarios alternativos: Adaptando la planta de producción de hidrógeno a un campo solar de torre existente o desarrollando "desde cero" uno nuevo, optimizando completamente la producción de hidrógeno a la planta solar. Se seleccionará la opción más prometedora y a continuación, será analizada en detalle, desarrollando la distribución de la planta, la definición y dimensionado en detalle de todos los componentes, así como el sistema de control y la simulación del funcionamiento de la planta completa.

Por último, se realizará un estudio técnico-económico y un análisis de mercado que determinará la viabilidad del escalado del proceso a escala de MW, mediante el cálculo de los costes necesarios para construir una planta de demostración de 1 MW y los costes respectivos de producción de hidrógeno y abastecimiento. Así mismo, se elaborarán escenarios realistas para la penetración en el mercado de la tecnología y las posibles sinergias con otras tec-

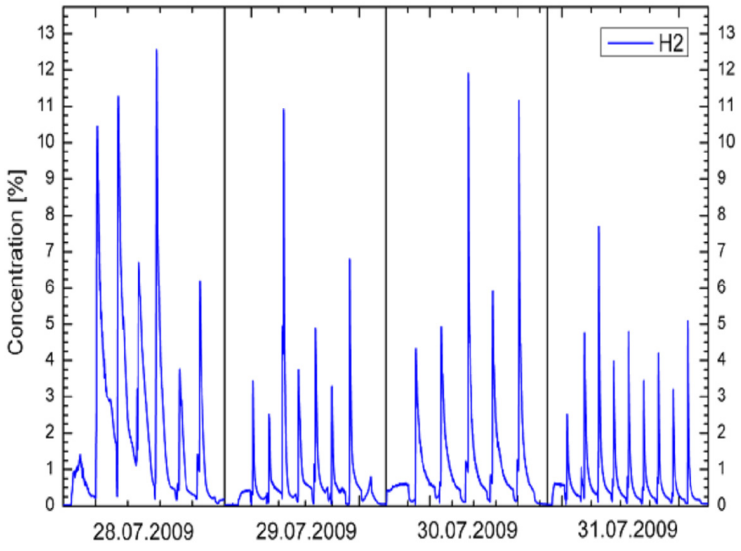


Figura 3.24 Perfiles de concentración durante varios ensayos consecutivos

nologías que complementen el proyecto, con el objetivo de demostrar que la combinación de las tecnología de torre central es una forma viable para producir grandes cantidades de hidrógeno a través de la disociación del agua a un coste razonable, sin ningún tipo de emisiones de efecto invernadero, facilitando el camino para un futuro sostenible de una economía de hidrógeno puramente renovable.

Publicación: [3.32]-[3.34]

3.4.4 ORESOL

Obtención de oxigeno a partir de REgolita lunar con Energía SOLar concentrada.

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: 01 de enero de 2008 – 31 de diciembre de 2011

Motivación: Para posibilitar estancias permanentes y sostenibles del ser humano en el espacio más allá de la órbita baja terrestre, el acceso económico a recursos esenciales es imprescindible. Un recurso muy importante que se necesita 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 (eq. (1)), seguida de una electrólisis para la obtención del oxígeno y recuperación del hidrógeno (eq. (2)).

$$FeTiO_3 + H_2 \rightarrow TiO_2 + H_2O + Fe \quad (1)$$

$$2\ H_2O \rightarrow 2\ H_2 + O_2 \quad (2)$$

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.

Figura 3.25 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.

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 dentro de DeMoLOP 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 2010: Los logros principales que se han conseguido en el proyecto Oresol en el año 2010 son el montaje de una gran parte del reactor solar y el diseño en detalle y la adquisición de componentes subordinados como el soporte, la tubería de alimentación de gas, y parte de la instrumentación.

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, a través de una ventana de cuarzo. En la figura siguiente se pueden ver distintas fases del montaje del reactor.

El interior del reactor está dominado por el aislamiento microporoso que minimiza las pérdidas de calor. En el centro está el recipiente de las partículas con un sofisticado suelo de fluidización para la uniforme fluidización de las partículas. Una apertura anular en la parte superior dirige la radiación solar concentrada al lecho fluidizado. La carga y descarga del reactor con partículas va de manera continua a través de tubos fluidizados auxiliares.

Hay que mencionar como un logro muy importante que, en contestación por parte del Ministerio de Ciencia e Innovación al informe de seguimiento, el proyecto Oresol ha sido valorado muy satisfactoriamente.

La financiación del proyecto se realiza con medios propios de la PSA, sin embargo, como ya se ha adquirido prácticamente todo el hardware, y como los resultados esperados pueden ser de gran valor para cualquier futuro proyecto de química solar, se ha acelerado el ritmo de trabajo para que en el 2011 se pueda completar la instalación y ejecutar los primeros ensayos.

Figura 3.26 Montaje del reactor Oresol

3.4.5 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: Inmaculada Cañadas, i.canadas@psa.es

Financiación: SOLARPRO I y SOLARPRO II. Proyectos financiados por el Ministerio de Ciencia y Tecnología, dentro del marco del Plan Nacional de I+D+I (2003-2007). Presupuesto total: 405,6 k€. Presupuesto CIEMAT: 213,6 k€.

Duración: SOLARPRO I y SOLARPRO II: Noviembre 2003 - Diciembre de 2011

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 objetivo 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: Aunque los proyectos originales SOLARPRO-I y II terminaron oficialmente en el año 2007, la PSA ha continuado trabajando con medios propios en esta línea de I+D iniciada con estos proyectos, ya que los buenos resultados conseguidos así lo aconsejaban. En el año 2010 no solo se han seguido utilizando los tres prototipos de cámara o reactores diseñados y construidos durante años anteriores, sino que se ha seguido trabajando en la

mejora de unos prototipos viables que han dado hasta ahora excelentes resultados para distintos procesos, no solo para los que fueron concebidos, sino para nuevas líneas de investigación, e incluso para otros proyectos, y se ha trabajado en nuevas aplicaciones modificando en innumerables ocasiones los prototipos de SolarPRO, así como diseñando nuevos prototipos (como el LF II o el lecho fluidizado directo) que nos han permitido alcanzar nuevos objetivos y abordar nuevos procesos.

Figura 3.27 Prototipo de reactor solar del proyecto SOLARPRO en operación en el Horno Solar de PSA.

Se ha seguido trabajando en el desarrollo de las segundas generaciones de estos prototipos, con los que se han obtenido resultados exitosos tanto en las líneas que se marcaron como prioritarias en el proyecto original, como en la investigación de nuevas aplicaciones con prototipos nuevos y mejorados.
Adicionalmente se han 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. Además, se han establecido nuevas líneas y colaboraciones, algunas de ellas financiadas mediante programas de acceso a la Plataforma Solar de Almería.

Publicaciones: [3.28] [3.35]-[3.39]

3.4.6 Subprograma de acceso de Instalaciones Científicas y Técnicas Singulares (ICTS). Acceso al Horno Solar de la Plataforma Solar de Almería.

Participantes: Instituto de Carboquímica de Zaragoza, el Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM), la Universidad de Castilla La Mancha (UCLM), el Instituto Madrileño de Estudios Avanzados (IMDEA), la Unidad de Desorción de Suelos del CIEMAT

Contacto PSA: Inmaculada Cañadas (i.canadas@psa.es)
José Rodríguez, jose.rodriguez@psa.es

Financiación: Proyecto financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación a través del Subprograma de diseño, viabilidad, acceso y mejora de Instalaciones Científicas y Técnicas Singulares (ICTS). Di-

seño, viabilidad, acceso y mejora de las ICTS. Presupuesto total: 90 k€.

Duración: 2010

Objetivos El objetivo de esta actividad de la PSA se enmarca en el objetivo general del Subprograma de acceso de ICTS potenciando el acceso a las instalaciones del Horno Solar de la PSA, ofreciendo el acceso a la instalación de usuarios externos, y de soporte técnico a los mismos incluyendo, en su caso, el acceso telemático.

Resultados alcanzados en 2010: Las campañas realizadas se han centrado en las siguientes actividades:

- El Instituto de Carboquímica de Zaragoza ha realizado una campaña de ensayos para la producción de H_2 por descomposición química de CH_4, en el horno rotatorio. Se llevaron a cabo 8 ensayos a temperaturas entre 500 y 900ºC y tiempos de exposición de 1 y 2 horas. Se emplearon 3 catalizadores distintos: Ni/Al_2O_3; Fe/Al_2O_3 y BP2000.
- Los ensayos del CENIM, han estado dirigidos a la nitruración de probetas de acero A_30_4L y de aleaciones de titanio $TiAl_4V$, en el lecho fluidizado LFII. Se llevaron a cabo 2 campañas, en la primera se hicieron 5 tests a temperaturas de 850, 1200, 1300 y 1400ºC, y caudales de fluidización entre 10 y 40 l/min; en la segunda se realizaron otros 5 ensayos en el lecho LFII, fluidizando en N_2 con caudales de fluidización de 8 y 18 l/min, a 850ºC de temperatura. Los lechos utilizados han sido: arena de fundición, Al_2O_3, alumina corindón y AL_2O_3+5%B_4C.
- La UCLM ha llevado a cabo una campaña de ensayos destinada a la sinterización de distintas aleaciones de probetas de acero de herramientas M2 y a la nitruración de muestras de Ti_6Al_4V en la cámara MiniVac. En los ensayos de sinterización se ha empleado gas HYD45 (N_2+5%H_2), y nitrógeno en los ensayos de nitruración. Se realizaron 10 ensayos de sinterización a temperaturas comprendidas entre los 1000 y los 1225ºC, mientras que se hicieron 4 ensayos de nitruración a temperaturas de 900 a 1200ºC.
- El instituto IMDEA de Madrid ha realizado 2 campañas de ensayos para la producción de H_2 por reducción de óxido de manganeso, en la cámara MiniVac, en atmósfera controlada de Ar a temperaturas en el rango de 900ºC a 1600ºC.
- La desorción térmica de mercurio en suelos contaminados ha sido objeto de los ensayos de la Unidad de Degradación de Suelos del CIEMAT. La campaña, durante la que se han llevado a cabo 10 tests en el horno rotatorio, se ha realizado a temperaturas de 60, 160, 220, 260, 360, 560, 650 y 750ºC y tiempos de exposición de 1 h.

Adicionalmente, a estos ensayos, se han realizado diferentes campañas de líneas propias de la PSA, como la adquisición, calibración y puesta en operación de una nueva cámara de IR solarblind, así como colaboraciones con grupos mixtos, como el de Automática y control de la Universidad de Almería en colaboración con el de la PSA-CIEMAT. En estas líneas cabe destacar las siguientes campañas de ensayos:

- La campaña de la Universidad de Almería se ha enfocado al control automático del Shutter del Horno Solar, con distintos controladores y curvas de subida, a temperaturas desde 200 a 800ºC.
- Finalmente el Grupo de Materiales de la PSA ha realizado una campaña de ensayos en la cámara de proceso, con objeto de obtener datos para completar el diseño de una nueva cámara de proceso que optimice las prestaciones de la actual. Se han llevado a cabo 6 ensayos con temperaturas máximas en aire desde los 1000ºC a los 1150ºC.

Cabe mencionar también que durante el año 2010 se ha realizado una mejora de esta infraestructura con fondos de Plan E, construyéndose el nuevo Horno Solar SF40.

3.5 Publicaciones

[3.1] G. San Vicente , R. Bayón, N. Germán, A. Morales, 2010. "Surface modification of porous antireflective coatings for solar glass covers", Solar Energy (in press).

[3.2] Fernández-García, A., Zarza, E., Pérez, M., Valenzuela, L. Rojas, E., Valcárcel, E. Experimental assessment of a small-sized parabolic-trough collector. CAPSOL project. 2nd International Congress on Heating, Cooling and Buildings (EUROSUN 2010). Graz (Austria). September, 28- October, 1, 2010.

[3.3] S. Meyen, A. Fernández-García, C. Kennedy, E. Lüpfert. "Standardization of solar mirror reflectance measurements – Round Robin Test", SolarPACES 2010 The CSP Conference: Electricity, Fuels and Clean Water from Concentrated Solar Energy, Perpignan, Francia, 21-24 Septiembre, 2010.

[3.4] R. Bayón, E. Rojas, L. Valenzuela, E. Zarza, J. León, 2010. "Analysis of the experimental behaviour of a 100kWth latent heat storage system for direct steam generation in solar thermal power plants", Applied Thermal Engineering, Vol.30 (2010), pp. 2643-2651.

[3.5] Adinberg, R.; Tamme, R.; Laing, D.; Py, X; Rojas, E.; Fabrizi, F.; Hänchen, M., Report on the Methodology to Characterize Various Types of Thermal Storage Systems, D15.1 SFERA project, Julio 2010.

[3.6] A. Fernández-García, E. Zarza, L. Valenzuela, M. Pérez. "Parabolic-trough solar collectors and their applications". Renewable & Sustainable Energy Reviews, Vol.14, pp. 1695-1721, Septiembre 2010.

[3.7] L. González Martínez, 2010. "Las centrales solares termoeléctricas". Revista Iberoamericana de Física, Vol.6 (2010), No.1, pp. 18-21.

[3.8] E. Zarza, 2010. "Concentrating Solar Power Plants and Project in Spain". Journal of the Japan Institute of Energy, Vol.4 (2010), Iss.7, pp. 302-308.

[3.9] [D.A. Donaji, L. Gonzalez, "Comparative study of concentrated solar power plants with Solar Advisor Model". SolarPACES 2010 The CSP Conference: Electricity, Fuels and Clean Water from Concentrated Solar Energy, Perpignan, Francia, 21-24 Septiembre, 2010.

[3.10] A. Fernández-García, M.E. Cantos-Soto, J. León, R. Lopez-Martín, "Optimization of some key aspects of CSP plants maintenance". SolarPACES 2010 The CSP Conference: Electricity, Fuels and Clean Water from Concentrated Solar Energy, Perpignan, Francia, 21-24 Septiembre, 2010.

[3.11] P. García, M. Sánchez, M.J. Blanco, L. Valenzuela, "Validation of a dynamic model for direct steam generation in parabolic troughs using data from the DISS installation". SolarPACES 2010 The CSP Conference: Electricity, Fuels and Clean Water from Concentrated Solar Energy, Perpignan, Francia, 21-24 Septiembre, 2010.

[3.12] D. Hernández-Lobón, L. Valenzuela, E. Zarza., "Pressure drop calculation methods for direct steam generation in parabolic troughs". SolarPACES 2010 The CSP Conference: Electricity, Fuels and Clean Water from Concentrated Solar Energy, Perpignan, Francia, 21-24 Septiembre, 2010.

[3.13] F.Téllez, Gemasolar: La germinación de un éxito compartido empresa-CIEMAT. Revista VERTICES (CIEMAT) Dic. 2010.

[3.14] Lars Amsbeck, Thorsten Denk, Miriam Ebert, Christian Gertig, Peter Heller, Patrik Herrmann, Jens, Jedamski, Joachim John, Robert Pitz-Paal, Tobias Prosinečki, Jonny Rehn, Wolfgang Reinalter and Ralf Uhlig1"TEST OF A SOLAR-HYBRID MICROTURBINE SYSTEM AND EVALUATION OF STORAGE DEPLOYMENT". Paper 177. Conference SolarPaces, 2010.

[3.15] Antonio L. Ávila Marín: Volumetric receivers in Solar Thermal Power Plants with Central Receiver System technology: A review. Sol. Energy (2011), doi: 10.1016/j.solener.2011.02.002 (www.sciencedirect.com)

[3.16] Félix M. Téllez, Marcelino Sánchez, Ana Monreal: "Estudio de viabilidad técnico-económica para el desarrollo de tecnologías de plantas solares termoeléctricas de receptor central. RESUMEN EJECUTIVO Y CONCLUSIONES". (Confidencial)

[3.17] Marcelino Sánchez, Ana Monreal, Iñaki Pérez, Félix M. Téllez, Antonio Ávila , Rafael Monterreal , Jesús Fdz. Reche, Thosrten Denk: "Estudio de viabilidad técnico-económica para el desarrollo de tecnologías de plantas solares termoeléctricas de receptor central. TAREA A: COMPONENTES". (Confidencial)

[3.18] Marcelino Sánchez, Ana Monreal, Iñaki Pérez, Félix M. Téllez, Mario Biencinto, Antonio Ávila, Donají Martínez: "Estudio de viabilidad técnico-económica para el desarrollo de tecnologías de plantas solares termoeléctricas de receptor central. TAREA B: SISTEMAS Y CONSIDERACIONES DE DISEÑO·" (Confidencial).

[3.19] Félix M. Téllez, Marcelino Sánchez, Ana Monreal: "Estudio de viabilidad técnico-económica para el desarrollo de tecnologías de plantas solares termoeléctricas de receptor central. TAREA C: ANÁLISIS Y PROPUESTAS" (Confidencial).

[3.20] J. Ballestrín, "Medida de flujo y temperatura en plantas de receptor central ". Informe HELITOSAL, Ref. doc. HELITOSAL-SC-CS-01. 27 de Septiembre, 2010.

[3.21] J. Ballestrín, J. Valero and G. García, "One-click heat flux measurement device", 16th SolarPACES International Symposium. Perpignan, France, 21-24 September 2010.

[3.22] J. Ballestrín, A. Marzo, I. Cañadas, J. Rodríguez, "Testing a solar-blind pyrometer". Metrologia 47 (2010) 646-651. ISSN: 0026-1394

[3.23] [3.10]: J. Ballestrín, "A realistic test for validating a solar spectral irradiance measurement", 16th SolarPACES International Symposium. Perpignan, France, 21-24 September 2010.

[3.24] Eneko Setien, Jesus Fernandez-Reche, and David Hernandez:, "The influence of the heat transfer fluid in the receiver Durability and Efficiency". Paper 151. Conference Solarpaces 2010.

[3.25] Eneko Setien, Jesus Fernandez-Reche: "Análisis del estado de degradación del receptor prototipo de Gemasolar". Informe interno. Unidad de Sistemas Solares de Concentración. PSA.

[3.26] Vidal, T. Denk, L. Steinfeld, L. Zacarías Upscaling of a 500 kW Solar Gasification Plant. 177. Schriften des Forschungszentrums Jülich Energy & Environment Volume 78-3. ISBN 978-3-89336-654-5. Proceedings 18th World Hydrogen Energy Conference 2010 - WHEC 2010: Parallel Sessions Book 3

[3.27] Vidal, A. Informe Fase II Ref. PDVSA-MQ-QA-01. 2009.

[3.28] T. Denk , A. Valverde , A. López, A. Steinfeld , P. Haueter , L. Zacarías, J. C. de Jesús and A. Vidal. "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] Process for converting heavy crude oils and petroleum coke to syngas using external source of radiation. US-Patent 7,176,246. February 13, 2007. Rodriguez; Domingo (Miranda, VE), Morales; Alfredo (Caracas, VE), Blanco; Julian (Tabernas, ES), Romero; Manuel (Madrid, ES), Steinfeld; Aldo (Brugg, CH).

[3.30] Apparatus for gasification of carbonaceous solid materials. US-Patent Application 20070098602. May 3, 2007. Haueter; Philipp; (Aarau, CH) ; Z'Graggen; Andreas; (Zurich, CH) ; Trommer; Dominic; (Zurich, CH) ; Steinfeld; Aldo; (Brugg, CH) ; Romero; Manuel; (Madrid, ES) ; De Jesus; Juan Carlos; (Miranda, VE) ; Rodriguez; Domingo; (Miranda, VE) ; Morales; Alfredo; (Caracas, VE) ; Blanco; Julian; (Tabernas (Almeria), ES)

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

[3.32] Demonstration of Solar Hydrogen Production from Water Splitting via Monolithic Honeycomb Reactors in a 100-kW-Scale Pilot Plant. C. Agrafiotis, A.G. Konstandopoulos, S. Lorentzou, C. Pagkoura, A. Zygogianni, M. Roeb, J.-P. Säck, P. Rietbrock, C. Prahl, H. Schreiber, M. Neises, M. Ebert, W. Reinalter, M. Meyer-Grünefeld, C. Sattler, A. Lopez, A. Vidal, A. Elsberg, P. Stobbe, D. Jones, A. Steele 307. Schriften des Forschungszentrums Jülich Energy & Environment Volume 78-2. ISBN 978-3-89336-654-5. Proceedings 18th World Hydrogen Energy Conference 2010 - WHEC 2010: Parallel Sessions Book 2.

[3.33] A. Lopez, A. Valverde, T. Denk and A. Vidal "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).

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

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

[3.36] Nobumitsu Shohoji, Teresa Magalhaes, Fernando Almeida Costa Oliveira, Luis Guerra Rosa, Jorge Cruz Fernandes, José Rodríguez, Inmaculada Cañadas and Diego Martínez. Heterogeneity along the Height in Disc Specimens of Graphite/Tungsten Powder Mixtures with Sub-Stoichiometric Carbon Atom Ratios Heated by Concentrated Solar Beam to 1600_C. Materials Transactions, Vol. 51, No. 2 (2010) pp. 381 to 388.

[3.37] L.E.G. Cambronero , I. Cañadas, D. Martínez, J.M. Ruiz-Román. Foaming of aluminium–silicon alloy using concentrated solar energy. Solar Energy 84 (2010) 879–887.

[3.38] L.E.G. Cambronero, I. Cañadas, J. Rodríguez, J.M. Ruiz Román, D. Martínez. Aplicación de la energía solar concentrada a la eliminación del lubricante en compactos del acero inoxidable 304L. Proceedings del III Congreso Nacional de Pulvimetalurgia. 113-123 .III Congreso Nacional de Pulvimetalurgia. Valencia, 13 y 14 de junio de 2010

[3.39] G. Herranz, G. P. Rodríguez, R. Alonso, I. Cañadas. Estudio microestructural de acero rápido m2 sinterizado con energía solar concentrada. Proceedings del XI Congreso Nacional de Materiales. XI Congreso Nacional de Materiales. Zaragoza (23-25 de junio de 2010)

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
Inmaculada Polo García
Noelia Miranda Garcia
Benigno Sánchez Cabrero
Raquel Portela Rodríguez
Maria Dolores Hernández
Silvia Suarez Gil´
Marta Sánchez Muñoz
María muñoz Vicente
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 y Desinfección Solar de agua (investigador responsable: Dr. Sixto Malato). Las principales actividades que se desarrollan dentro de esta línea de actividad incluyen, entre otras, las siguientes:
   - Descontaminación mediante fotocatálisis solar de contaminantes

orgánicos persistentes disueltos en agua.
- Desinfección de agua mediante procesos basados en la radiación solar.
- Otros procesos avanzados de descontaminación y desinfección de aguas, además de otros procesos fotoquímicos para aprovechamiento de la ra-diación solar.
- Diseño, construcción y ensayo de prototipos e instalaciones piloto con el fin de obtener datos básicos de viabilidad de los diferentes procesos.
- Divulgación de todo lo anterior en forma de Tesis Doctorales, artículos científicos en revistas con índice de impacto, etc.

B) Procesos de Descontaminación y Desinfección de aire (investigador responsable: Dr. Benigno Sánchez), con las siguientes líneas de investigación asociada:
- Tratamiento de emisiones y olores mediante fotocatálisis, tanto solar como con radiación artificial.
- Caracterización química y biológica del aire interior; descontaminación química y biológica del mismo mediante procesos fotoquímicos.
- Síntesis, caracterización físico-química y ensayo de actividad de nuevos fotocatalizadores.
- Diseño, construcción y ensayo de fotorreactores con diversas configuraciones y fuentes de radiación.

C) Procesos de Desalación Solar de agua de mar y salobre (investigador responsable: Dr. Julián Blanco), con las siguientes líneas definidas de investigación:
- Destilación Multiefecto (MED) mediante energía solar y/o sistemas híbridos solar-gas.
- Incorporación de bomba de absorción de doble efecto a plantas solares MED unido a estrategias avanzadas de control
- Desarrollo de tecnologías de destilación por membranas alimentadas por energía solar
- Integración de sistemas de ósmosis inversa en procesos basados en energía solar térmica mediante ciclos ORC
- Sistemas de poligeneración solar (electricidad / frío / agua / calor) basados en captadores cilindro-parabólicos
- Integración de tecnologías de desalación en plantas solares de potencia (CSP+D)

Estas tres líneas han tenido durante 2010 un nivel de actividad muy similar al desarrollado en años anteriores. El interés tanto por los procesos y tecnologías como por el conjunto de competencias tradicionales de la unidad y que se refleja en la lista anterior, por parte de empresas e instituciones externas, se ha mantenido notablemente alto como lo demuestran los proyectos y colaboraciones que, sucintamente, se resumen a continuación.

Quizás, la demostración mas notable de la afirmación anterior la constituye el hecho de que el área de actividad de las colaboraciones y proyectos en curso abarca la practica totalidad de los continentes del globo ya que, a la tradicional intensa actividad tanto dentro de España como a nivel Europeo, se añaden proyectos e iniciativas en curso tanto en norte y Latinoamérica, norte y sur de África, oriente medio, Asia y Australia.

En cada uno de los casos anteriores el tema especifico de interés será uno diferente, pero el conjunto de actividades le confiere a la unidad un notable grado de internacionalización a la vez que hace posible se aumente tanto la red de contactos y colaboraciones como la de las temáticas especificas de I+D+i a abordar. Interés que, dentro de esta Unidad, estamos convencidos

de que no puede sino aumentar en los próximos años.

La plantilla de personal del la Unidad, a 31 de diciembre de 2010, estaba formada por un total de 24 personas, siendo su desglose el siguiente: 5 investigadores funcionarios, 6 investigadores contratados, 1 becario Ramón y Cajal, 1 becario Juan de la Cierva, 8 becarios de doctorado y 3 técnicos de laboratorio. El grupo de "Procesos de Descontaminación y Desinfección de 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 2010, los ingresos externos de la Unidad han superado los 650.000 €.

A continuación se describen las principales actividades desarrolladas durante el año 2010 dentro de cada uno de los distintos grupos y líneas de I+D+i anteriormente indicadas.

4.2 Grupo de Detoxificación y Desinfección de Aguas

Durante 2010 se han concluido un total de 4 proyectos europeos (VI Programa Marco de la Comisión Europea), y se han iniciado actividades en un proyecto nacional nuevo (EDARSOL) y otro europeo (SFERA), además de continuarse las actividades de otros proyectos ya en curso en 2009. Detalles de cada uno de ellos se recogen en las siguientes páginas. Durante este año han realizado estancias en nuestro grupo un total de más de 20 investigadores de otros centros de investigación y universidades de España, Portugal, Argentina, Irlanda, Grecia, Italia, UK, Francia y Chipre. Además, se ha defendido una Tesis Doctoral (Dra. Carla Sirtori) dirigida por doctores del grupo y recogida 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 18, 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: 6 Tesis Doctorales en marcha, 1 Tesis Doctoral defendida en 2010, 1 libro, 1 capítulo de libro y 16 comunicaciones (6 de ellas orales o invitadas, recogiéndose las más relevantes también en esta introducción) a diferentes Congresos Internacionales. Es también preciso remarcar que se han editado dos volúmenes especiales de las revistas Catalysis Today y Photochemical and Photobiological Sciences asociados al congreso 6th European meeting on Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Applications, que tuvo lugar en Praga (República Checa), del 13 al 16 de Junio de 2010 (http://www.spea6.com/).

Publicaciones: [4.1]-[4.6]

4.2.1 EDARSOL

Integración de procesos de fotocatálisis solar en la depuración biológica de aguas residuales para la eliminación de contaminantes emergentes (EDARSOL).
http://www.psa.es/webesp/projects/edarsol/index.php

Participantes: Dep. Ing. Química/Univ. Extremadura; 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: 120 K€.
Duración: Enero 2010 – Diciembre 2010

Motivación: Aunque existe información acerca de la posibilidad de tratar contaminantes mediante diferentes tecnologías, es también sabido que las sustancias no biodegradables, como plaguicidas, fármacos, hormonas y fragancias sintéticas entre otras, no se eliminan en los tratamientos convencionales de aguas residuales. Por tanto, se requiere la aplicación de nuevas tecnologías en el tratamiento de aguas que incluyan procesos más exhaustivos y combinando diferentes técnicas, tanto químicas como biológicas.

Objetivos: Con este proyecto se pretende desarrollar un proceso integrado de eliminación de contaminantes emergentes en aguas residuales, mediante la combinación del tratamiento biológico con procesos avanzados de oxidación (PAOs) basados en fotocatálisis solar (TiO_2, foto-Fenton) y ozonización. El objetivo general del proyecto será diseñar (a partir de modelos cinéticos tanto para la etapa biológica como la química), construir y evaluar sistemas (planta piloto) de tratamiento que integre un reactor biológico (basado en el tratamiento biológico más adecuado entre los evaluados en cada subproyecto) acoplado con un proceso de fotocatálisis solar. Los objetivos concretos del proyecto coordinado, que derivan de las sinergias entre los diferentes subproyectos, son:

1) Establecer una metodología global para determinar, con precisión, la correcta detoxificación y adecuada biocompatibilidad de aguas residuales tratadas mediante procesos avanzados (de oxidación avanzada y aerobios), mediante la comparación de distintos métodos de medida de toxicidad y biodegradabilidad.
2) Optimizar la depuración biológica de aguas residuales mediante la comparación de reactores de membrana (MBR), reactores con biomasa inmovilizada (IBR) y fangos activos en tanques agitados (TA).
3) Seleccionar la mejor opción entre diferentes tratamientos de oxidación avanzada de aguas residuales.
4) Integración de procesos, incluyendo su evaluación económica.

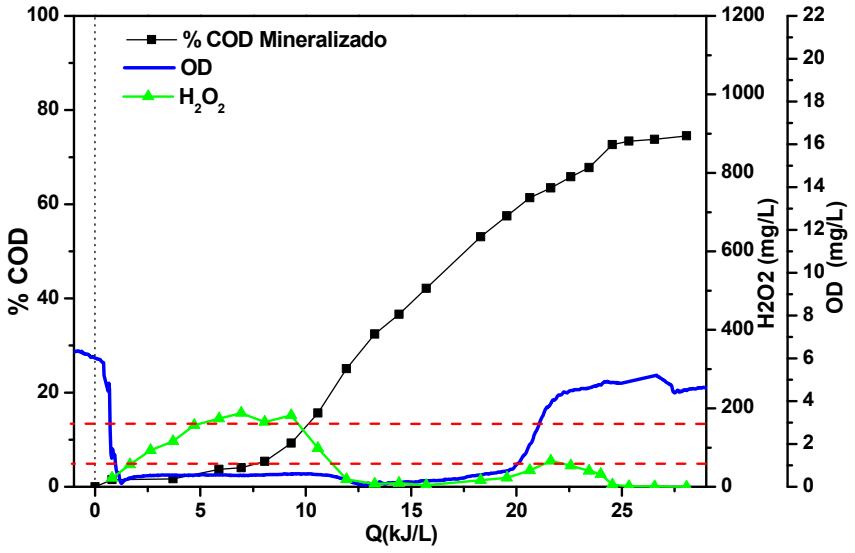


Figura 4.1 Mineralización de una mezcla de contaminantes (COD=200 mg/L) mediante foto-Fenton utilizando dosificación automático de H_2O_2 y evolución del oxígeno disuelto (OD) y peróxido de hidrógeno.

Resultados obtenidos en 2010. Durante 2010 se procedió a la comparación y evaluación de diferentes procesos avanzados de oxidación (PAO): (i) optimización proceso foto-Fenton estudiando la dosificación automática de H_2O_2 en función de la concentración de O_2 disuelto; (ii) tratamiento terciario mediante foto-Fenton solar de efluentes de EDAR; (iii) tratamiento terciario mediante foto-catálisis solar con TiO_2 de efluentes de EDAR; (iv) evaluación de la toxicidad durante los diferentes PAO estudiados, (v) construcción y puesta en marcha de nuevo reactor foto-electro-Fenton.

En la Figura 4.1 se muestra parte de los resultados obtenidos al estudiar la relación entre concentración de H_2O_2 y la concentración de O_2 disuelto (OD) con el objetivo de poder utilizar la medida de OD para controlar la dosificación automática de H_2O_2. El exceso de peróxido compite por los radicales $OH^{\cdot}$ y por tanto debe controlarse su concentración pero si la concentración es baja la reacción se ralentiza por falta de peróxido. Se ha confirmado la relación entre H_2O_2 y el perfil de concentración de OD durante el proceso de foto-Fenton y

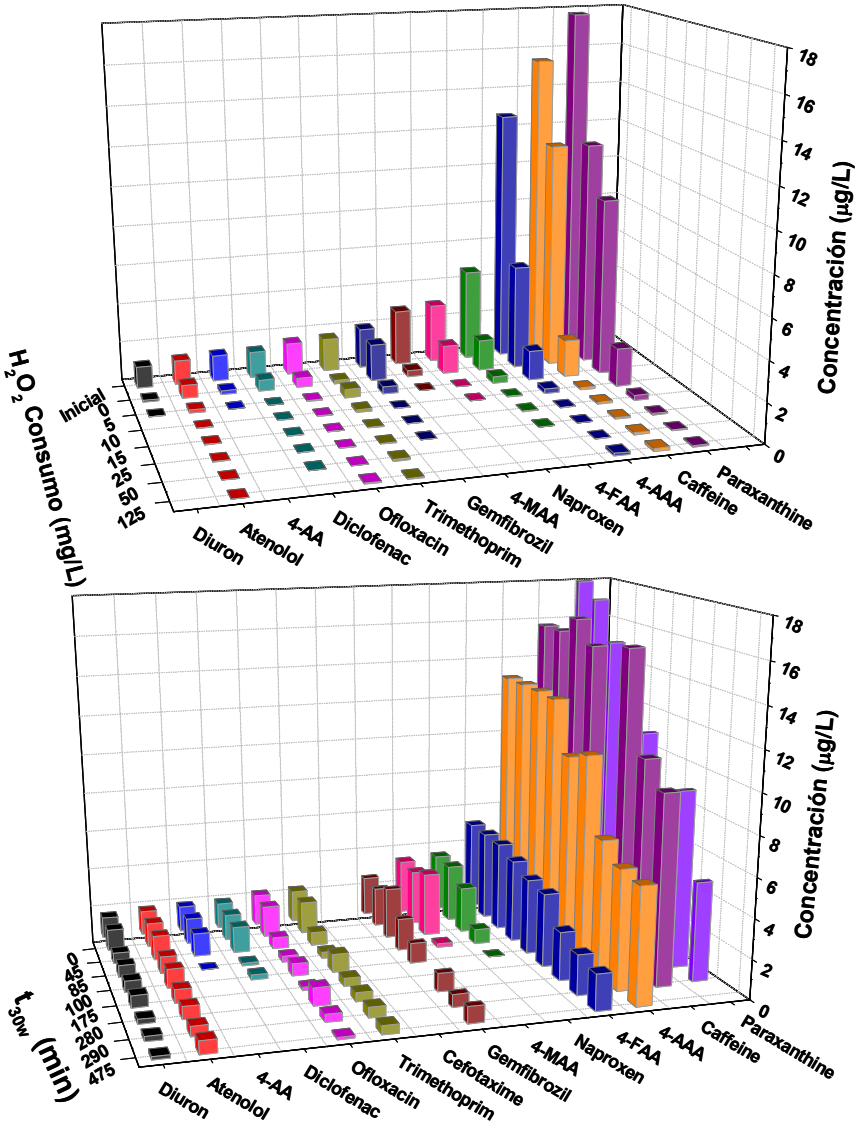


Figura 4.2 Eliminación de contaminantes en efluentes de EDAR mediante foto-Fenton (arriba) y TiO_2 (abajo). Se muestran aquellos compuestos detectados por encima de 1000 ng/L.

por tanto es posible su uso para monitorizar el tratamiento y para la dosificación de H_2O_2. Se ha confirmado la importancia del mecanismo Dorfman y la activa participación del OD durante el tratamiento. Por tanto, es necesario optimizar la dosificación para que exista cierta acumulación de H_2O_2 adecuada para no frenar el proceso y que no se produzca el fenómeno de autodescomposición.

Resultado de tratamiento terciario de efluente de EDAR mediante foto-Fenton solar y fotocatálisis solar con TiO_2 se muestran en Figura 4.2. De los 85 compuestos estudiados se detectan 55, un 40 % presenta una concentración menor a 100 ppt, siendo la mayor parte de ellos fármacos aunque también se han detectado pesticidas, destacando el caso de la atracina, prohibida en la actualidad. En mayor concentración aparecen sobre todo metabolitos, destacando la cafeína y su metabolito paraxantina con concentraciones mayores de 15 µg/L. En los estudios de toxicidad hechos con *Vibrio fischeri* (bacteria bioluminiscente con alta sensibilidad a efectos inhibidores de agentes tóxicos) y con respirometría utilizando fangos activos de depuradora no se detectó toxicidad en el inicio del tratamiento, ni que ésta aumentara durante el mismo.

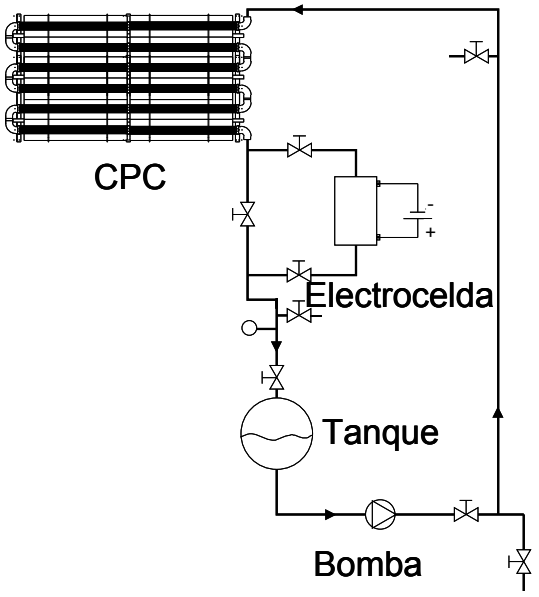


Figura 4.3 Esquema de nuevo reactor fotoelectroquímico instalado en la PSA.

Durante 2010 el grupo de detoxificación/desinfección de la PSA ha adquirido un reactor electroquímico (Figura 4.3) comercial "Electrocell", el cual consta de un ánodo dimensionalmente estable (DSA-O_2) de RuO_2 y de un cátodo de difusión de oxígeno "Black Pearls 2000". El ánodo es capaz de generar radicales oxidantes hidroxilo a partir de la oxidación del H_2O, mientras que en el cátodo se electrogenera H_2O_2 in situ de manera continua a lo largo de los experimentos de degradación gracias a la reducción bielec-trónica del O_2 contenido en el aire comprimido insuflado a la cámara de aire de que dispone el reactor. El reactor está acoplado a una planta piloto de colectores parabólicos (CPC), constituyéndose en un sistema electroquímico-fotoquímico de tratamiento de aguas de 35 L. Primeramente se ha trabajado en una configuración en la que la disolución era bombeada desde el recipiente hasta el reactor electroquímico, pasando luego por el CPC y siendo retornada al recipiente. Se han ido observando las fugas existentes bajo diferentes condiciones de flujo de líquido y de caudal de aire, y se han observado los efectos producidos sobre el cátodo y la cámara de aire. Una vez identificados los puntos problemáticos se han realizado las modificaciones necesarias en la configuración del sistema, y

para verificar el correcto funcionamiento del sistema modificado se han llevado a cabo varios experimentos de electrogeneración de H_2O_2. Estos han demostrado la gran capacidad del reactor electroquímico para generar H_2O_2 de manera continua y en cantidades suficientes como para llevar a cabo la reacción de Fenton. Se llega a un valor estacionario, que está entorno a 150-250 mg/L, una vez que se igualan las velocidades de generación en el cátodo y de destrucción en el ánodo. Por último, se observó que en presencia de Fe^{2+} 0.15 mM en el método fotoelectro-Fenton solar la cantidad acumulada en el sistema es muy pequeña debido a su participación en la reacción de Fenton para producir radicales hidroxilo. Dicha producción de especies altamente oxidantes debe, por tanto, servir como argumento para estudiar la viabilidad del proceso fotoelectro-Fenton solar para la degradación de contaminantes.

Publications: [4.7]-[4.15]

4.2.2 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-FP. 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 2010: El sistema industrial que combina foto-Fenton y tratamiento biológico para tratamiento de aguas conteniendo plaguicidas se ha ensayado en la empresa Albaida (grupo CESPA) durante una operación de

varios meses, con un resultado exitoso. La composición del agua industrial residual y su tratamiento se han podido evaluar gracias a utilizar un método cromatográfico de LC-MS-TOF desarrollado por la Univ. de Almería y que permite analizar hasta 300 plaguicidas en 20 minutos. Además de esto, se ha estudiado el efecto de la composición de la matriz de agua (es decir, el contenido en sales inorgánicas) en la eficiencia de la velocidad de reacción y también la posible formación de intermedios halogenados durante el tratamiento de foto-Fenton solar cuando en el agua hay una elevada concentración de cloruro. Esto es muy habitual en aguas residuales de origen industrial como vertidos de la industria farmacéutica o en lixiviados de vertedero.

Es interesante observar (Figura 4.4) que la velocidad de reacción en las tres matrices estudiadas (DIW, DIW_{NaCl} y SIE) no mostraba una diferencia sustancial. La velocidad de degradación en DIW_{NaCl} y SIE fue muy similar, ya que el efecto provocado por el elevado valor de COD contenido en SIE comparado con el COD inicial en DIW_{NaCl} era compensado por la mayor dosis de Fe^{2+} utilizada en el experimento con SIE. No obstante, el principal resultado se relaciona con el consumo de H_2O_2 para alcanzar la degradación completa de NXA, que fue muy similar en los tres casos (alrededor de 6-7 mM). Este hecho se puede justificar por la acción de los radicales $Cl^{\bullet}$ y $Cl_2^{\bullet-}$, que son también fuertes oxidantes (E^o_{SHE}, $Cl^{\bullet}/Cl^-$= 2.41 V; E^o_{SHE}, $Cl_2^{\bullet-}/2Cl^-$= 2.09 V), y, considerando que tales especies podrían estar presentes a altas concentraciones, éstas también podrían fácilmente oxidar el NXA, reduciendo el consumo de H_2O_2. Por lo tanto, en situaciones donde se observa una elevada concentración de iones cloruro, los radicales $Cl^{\bullet}$ y los radicales formados de la reacción entre los radicales $Cl^{\bullet}$ y el peróxido de hidrógeno podían compensar, en parte, la captura de los $^{\bullet}OH$ por los Cl-. Es interesante observar que para el proceso foto-Fenton, el consumo de H_2O_2 podría ser un parámetro interesante si se pretende conocer cuando se ha degradado NXA por completo y que compensaría de cierta forma las incertidumbres que se originan cuando sólo se tienen en cuenta los tiempos de tratamiento. Es decir, cuando se haya consumido alrededor de 8 mM de H_2O_2 se puede estar seguro que NXA se ha

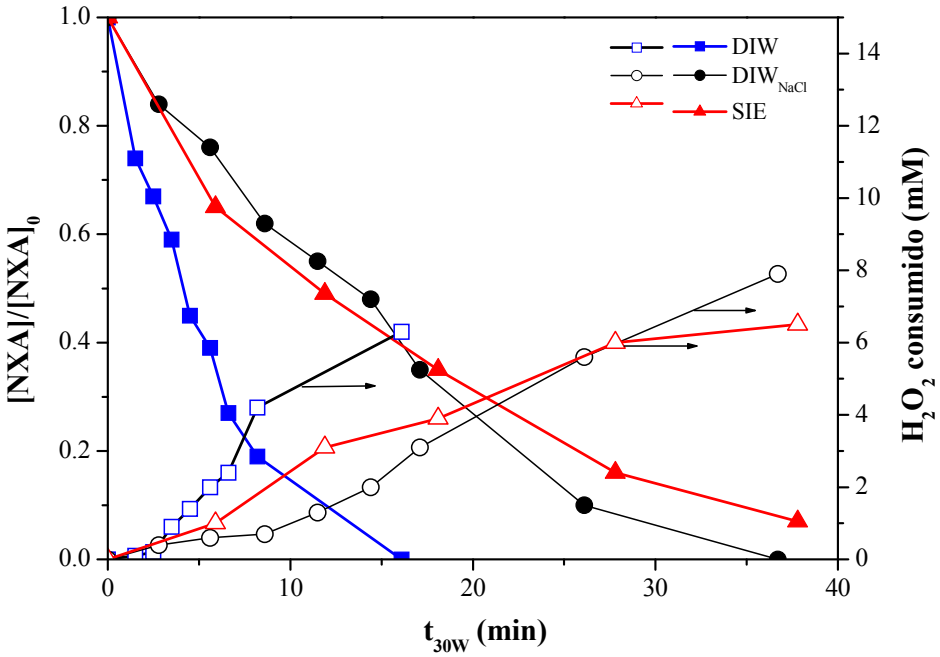


Figura 4.4 Degradación de ácido nalidixico (NXA) y consumo de peróxido de hidrógeno durante tratamiento de foto-Fenton en agua residual con diferentes contenidos en sales: agua desionizada (DIW), agua natural (SIE) y agua con 5 g/L de NaCl (DIW_{NaCl})

degradado por completo.

Durante los experimentos realizados en DIW_{NaCl} se identificaron diferentes intermedios. Sin embargo, los espectros de masa evidenciaron la formación de un único subproducto clorado, cuando la degradación de NXA tenía lugar en medio salino. La composición elemental y las abundancias isotópicas del ion $[M+H]^+$ a m/z 283.0419 ($C_{12}H_{12}ClN_2O_4$; DBE: 8) confirmó la presencia de un átomo de cloro en la molécula. En presencia de cloruro se podrían generar algunos complejos de Fe y Cl que a su vez pueden ser fotolizados a longitudes de onda entre 270-400 nm, lo que llevaría a la formación de $[Fe(OH_2)_6]^{2+}$ y $Cl^{\bullet}$, como. Los radicales $Cl^{\bullet}$ formados a partir de las reacciones de foto-disociación son rápidamente capturado por los cloruros que generan especies menos reactivas, tales como $Cl_2^{\bullet-}$ y $ClOH^{\bullet-}$. Tal hecho desfavorece la formación de subproductos clorados y explicaría la escasa abundancia de este compuesto, que además es rápidamente degradado en pasaos subsiguientes. Por tanto, se descarta la persistencia de intermedios clorados que pudieran aumentar la toxicidad durante el tratamiento.

Considerando el modo de operación de la planta de lavado de envases, es posible fijar de manera aproximada el COD del agua residual controlando la relación entre la cantidad de envases lavados y el volumen de agua empleada en esta tarea. En el caso de $COD_0$0 480 mg/L y DQO= 1360 mg/L el proceso de foto-Fenton se extendió hasta reducir el 37.5% del COD inicial empleando para ello 15 mM de H_2O_2 y 216 minutos de tiempo de iluminación. El efluente neutralizado (COD: 300 mg/L, DQO: 590 mg/L) se trató en el bioreactor durante cinco días, obteniendo un COD final de 52 mg/L. No obstante, tras 1.5 días de biotratamiento el COD ya se había reducido hasta 75 mg/L. Por tanto, la prolongación del biotratamiento más allá de dos días no reporta un beneficio notable en la eficiencia del proceso combinado. La eficiencia del sistema combinado fue del 84%, 37.5% correspondiente al proceso fotocatalítico y 46.5% a la etapa biológica.

Durante el ensayo se tomaron varias muestras a lo largo del tratamiento combinado para evaluar tanto la evolución de las materias activas contenidas en los plaguicidas como de la toxicidad expresada como el porcentaje de inhibición de la bacteria marina *Vibrio fischeri*. La toxicidad se redujo a medida que se avanzó en el proceso de foto-Fenton, alcanzando un valor mínimo al final del fototratamiento, y manteniéndose durante la etapa biológica. La identificación y cuantificación de los principios activos contenidos en las aguas de lavado de envases se realizó mediante cromatografía de líquidos acoplada a espectrometría de masas empleando un analizador de tiempo de vuelo (LC-TOF-MS). La principal característica de esta técnica analítica es que la determinación de la masa exacta nos proporciona información específica de una molécula dada, que puede ser confirmada por la presencia de otros fragmentos presentes en su espectro de masas. En este trabajo se hizo uso de un método automatizado que dispone de una biblioteca de espectros de masas de una gran variedad de plaguicidas conocidos. Este método, desarrollado por el grupo de 'Residuos de Plaguicidas' del departamento de Química Analítica de la Universidad de Almería es capaz de identificar 300 plaguicidas en un tiempo de análisis de 20 minutos. En el agua de lavado de envases se identificaron doce principios activos de plaguicidas en concentraciones variables. En la Figura 4.5 se muestra la evolución de la concentración de cada uno de los doce principios activos identificados a lo largo del tratamiento combinado. La concentración de todos los compuestos disminuyó durante el proceso combinado, principalmente durante la etapa de foto-Fenton. Tras el tratamiento biológico, todas las sustancias se eliminaron por completo excepto dos de

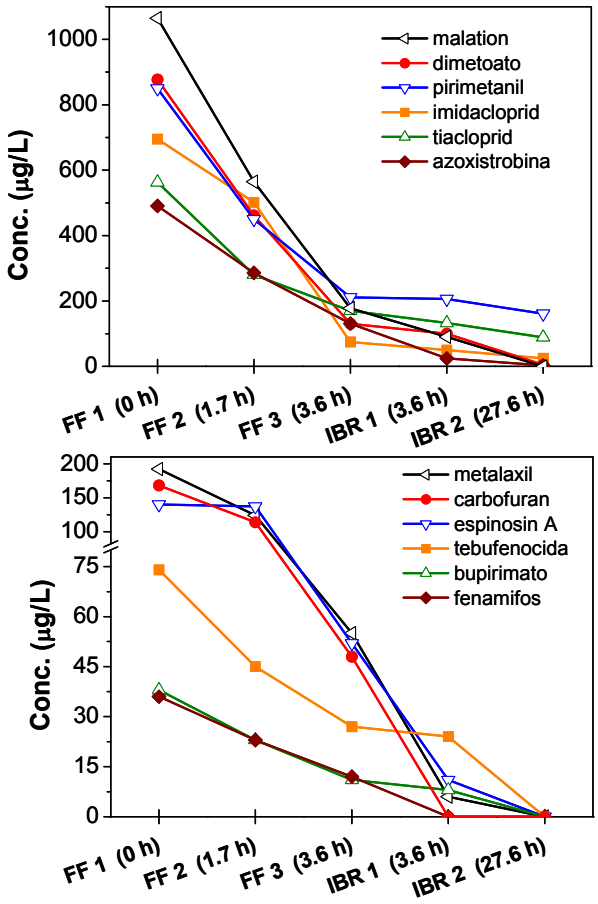


Figura 4.5 Evolución de la concentración de los plaguicidas contenidos en el agua real durante el sistema combinado foto-Fenton / biológico (COD_0: 480 mg/L). Se incluyen los tiempos de tratamiento de cada una de las muestra

ellas (pirimetanil y tiacloprid), que se detectaron en el orden de decenas de µg/L.

Las conclusiones generales de este proyecto, finalizado durante 2010 han sido:

- Cuando se trata un agua residual compleja, la integración de tratamientos de oxidación avanzada y biológicos es mucho más versátil que cada uno de estos tratamientos por separado, y muy a menudo sinérgica.
- La utilización de la radiación solar en estos procesos puede suponer un fuerte ahorro energético mediante un correcto diseño del fotorreactor.
- Todo ello debe ir acompañado de un estudio pormenorizado del impacto ambiental mediante técnicas de análisis del ciclo de vida (ACV) y de costes, que además permiten comparar entre diferentes tecnologías.

Publicaciones: [4.16]-[4.25]

4.2.3 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 (E), 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 – Marzo 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.

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. Su aplicación será igualmente eficaz en situaciones de catástrofes en las que el acceso a agua potable sea difícil.
- Ensayo y evaluación de distintas estrategias de difusión de la información y de la adopción de SODIS como técnica de tratamiento de agua potable.
- Divulgación de los resultados de investigación del proyecto a través de organismos internacionales de ayuda de manera que el SODIS se recomiende como medida de intervención de calidad.
- Desarrollo de un conjunto de mejoras tecnológicas del proceso SODIS 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; (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 2010: Se han estudiado diversos procesos fotocatalíticos promovidos por la radiación solar para mejorar el comportamiento desinfectante del proceso SODIS. Dichos procesos son: TiO_2/UVA solar, Fe^{2+}/UVA solar, Fe^{2+}/H_2O_2/UVA solar, H_2O_2/UVA solar. Los cuales, generan en agua radicales hidroxilo que son responsables de la oxidación de las moléculas que forman la membrana externa de los microorganismos y a su vez provocan la muerte o inactivación de los mismos.

Parte de los estudios experimentales se realizaron con esporas de *F. solani* como modelo de patógeno de cultivos de elevada resistencia, y los resultados se compararon con los obtenidos para la bacteria *Escherichia coli* (*E. coli*) K-12, ya que es un modelo de contaminación fecal ampliamente estudiado y utilizado como referencia en casi todos los estudios de desinfección de aguas. En este caso, las técnicas fotocatalíticas utilizadas fueron: H_2O_2 con radiación solar y H_2O_2 con sales de Fe^{3+} y radiación solar.

El principal resultado obtenido de este trabajo es la mejora del efecto desinfectante de la luz solar sobre el agua producida por la adición de Fe^{3+} y H_2O_2 como fuente de radicales hidroxilo ($^{\bullet}OH$). La Figura 4.5 muestra que la inactivación total bacteriana se alcanzó en los ensayos con 1, 5 y 10 mg/L de Fe^{3+} bajo radiación solar UV. Mientras que en la concentración de 50 mg/L de Fe^{3+} no se logró una inactivación completa. La desinfección solamente solar también alcanzó el límite de detección. Según estos resultados, 1, 5 y 10 mg/L de Fe^{3+} en presencia de luz solar natural mejoran la inactivación bacteriana comparada con la luz solar sin aditivos. Los mejores resultados se obtuvieron con 1 y 10 mg/L de Fe^{3+}, seguidos de 5 mg/L de Fe^{3+}. Esto se debe principalmente al hierro disuelto. Debido a este incremento en la concentración de hierro, la solución se hace más coloreada, y este efecto provoca un apantallamiento de la radiación y una pérdida de eficacia del proceso, lo cual se comprueba en el caso de 50 mg/L donde la inactivación total no se alcanzó durante el tratamiento. Con *F. solani* la inactivación total se logró con las concentraciones más bajas de Fe^{3+} (1, 2.5 y 5 mg/L). La desinfección solamente solar (SODIS) tampoco logró la inactivación total. Con 50 mg/L de Fe^{3+}, la concentración de *F. solani* se mantuvo sin cambios, al igual que lo observado en *E. coli.*

En la Figura 4.6 se observa la inactivación de *E. coli* con peróxido de hidrógeno y luz solar. El mejor resultado se obtuvo con 10 mg/L de H_2O_2, concentración a la cual la inactivación se alcanzó a 0.97 kJ/L (descenso de 4.9-log). También se logró inactivación total con 5 mg/L y 3.15 kJ/L, lo cual significó un descenso de 5.4-log. La inactivación de 5.3-log de bacterias se obtuvo con la menor concentración, 2.5 mg/L de H_2O_2. En este caso fueron necesarios 5.5 kJ/L de radiación UVA solar. Por otro lado, se determinó experimentalmente la inactivación de las esporas de *F. solani* con H_2O_2 y luz solar. En este caso todas las concentraciones de H_2O_2 son eficientes para lograr el límite de detección. Con las tres concentraciones probadas (2.5, 5 y 10 mg/L) fueron necesarios 14.5 kJ/L de UV-A solar para destruir los microconidios de *F. solani* y obtener un descenso de 3-log, una cantidad de energía alta si se compara con la necesaria para desinfectar *E. coli,* ya que el hongo presenta una fuerte defensa contra el estrés oxidativo. La inactivación total no se logró con el SODIS, con el cual sólo se consiguió un descenso de 1-log de la concentración total de microconidios de *F. solani*.

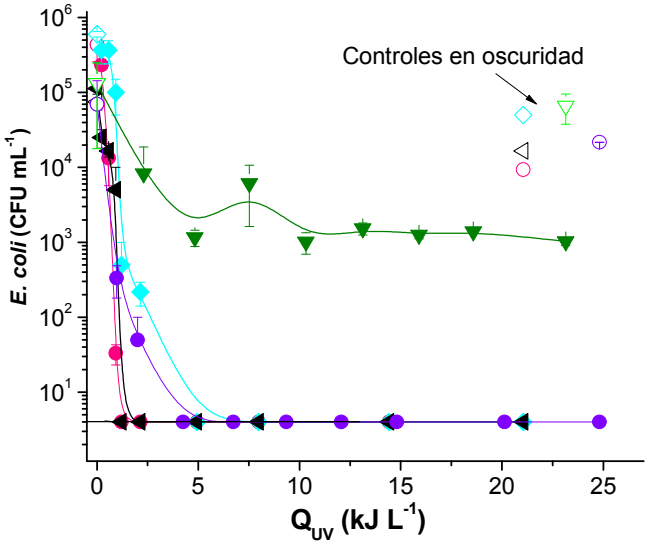


Figura 4.6 Evolución de *E. coli* a lo largo del tiempo de exposición solar en presencia de concentraciones de Fe^{3+} de 1 mg/L (●), 5 mg/L (●), 10 mg/L (◄) y 50mg/L (▼), comparadas con un tratamiento SODIS (♦) (test de control solamente solar).

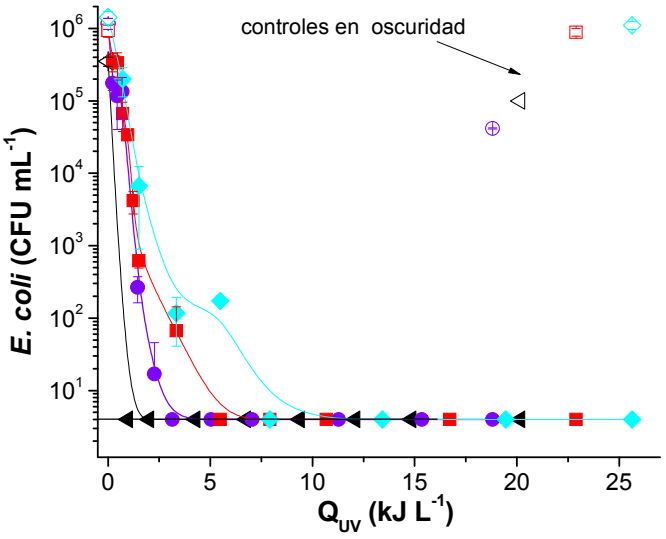


Figura 4.7 Desinfección de *E. coli* frente a Q_{UV} bajo luz solar natural en presencia de concentraciones de H2O2 de 2.5 mg/L (■), 5 mg/L (●) y 10mg/L (◄) comparadas con el tratamiento SODIS (♦) (control solamente solar).

En el caso de la inactivación de *E. coli* con foto-Fenton solar (Fe^{3+}/H_2O_2/luz solar) se utilizaron varias concentraciones de hierro y peróxido de hidrógeno, y en todas ellas se alcanzó la desinfección. La concentración óptima utilizada fue 5 mg/L de Fe^{3+}-10 mg/L de H_2O_2, en la cual se alcanzó el límite de detección (4.5-log de reducción) con 0.96 kJ/L, seguida de 10 mg/L de Fe^{3+}-10 mg/L de H_2O_2, con la que se alcanzó la inactivación total (descenso de 4.9-log) con 2.31 kJ/L. Con el tratamiento SODIS también se obtuvo una inactivación de 5.2-log con 4.83 kJ/L. Esta serie de experimentos se llevó a cabo a un pH cercano a la neutralidad (5.5-6). La razón de trabajar con este pH es que

la viabilidad de *E. coli* se ve comprometida a pHs por debajo de 4.5. En la Figura 4.8 (*F. solani*) se observa que el límite de detección es alcanzado con las menores concentraciones (1 mg/L de Fe^{3+}-2.5 mg/L de H_2O_2; 2.5 mg/L de Fe^{3+}-5 mg/L de H_2O_2; y 5 mg/L de Fe^{3+}-10 mg/L de H_2O_2). La concentración óptima fue 2.5 mg/L de Fe^{3+}-5mg/L de H_2O_2 con la que se logró la completa desinfección de microconidios, un descenso de 3.4-log, con 14.47 kJ/L. Sin embargo, los microconidios no fueron desinfectados con las concentraciones más altas (10, 35 y 50 mg/L de Fe^{3+}- 10 mg/L de H_2O_2) ni con los ensayos de SODIS.

Figura 4.9 muestra una comparativa de los mejores resultados obtenidos con cada método para la desinfección de los microconidios de *Fusarium solani*. De todos los ensayos realizados, el foto-Fenton (2.5 mg/L de hierro y 5 mg/L de H_2O_2) ha sido el que alcanza el límite de detección con un menor aporte energético (14.5 kJ/L), seguido por el H_2O_2, que necesitó 15.4 kJ/L. En último lugar se encuentra la eficiencia del método en el que sólo se utiliza hierro (2.5 mg/L). En este ensayo se necesitaron 20.8 kJ/L para alcanzar la completa desinfección. Por último, con la desinfección solamente solar no se consiguió obtener una completa inactivación del hongo.

En los experimentos de *E. coli*, usando las concentraciones adecuadas, la desinfección solamente solar fue mejorada por el Fe^{3+}, H_2O_2 y foto-Fenton. El mejor resultado en bacterias se obtuvo con foto-Fenton (5 mg/L de Fe^{3+}-10 mg/L de H_2O_2), en el que se logró la inactivación total con 0.96 kJ/L (15 minutos de exposición solar). Mientras que en los ensayos de *F. solani*, debido a la alta resistencia de sus esporas, no se logró con la desinfección solar alcanzar la inactivación total, obteniendo mejores resultados con los ensayos de foto-Fenton con 2.5 mg/L de Fe^{3+}-5 mg/L de H_2O_2, en el cual se obtuvo la inactivación total con 14.47 kJ/L (3 horas de exposición solar). Aún siendo el H_2O_2 y el Fe^{3+} muy buenos catalizadores por separado, el uso conjunto de ambos mejora el rendimiento, obteniendo la total desinfección del microorganismo.

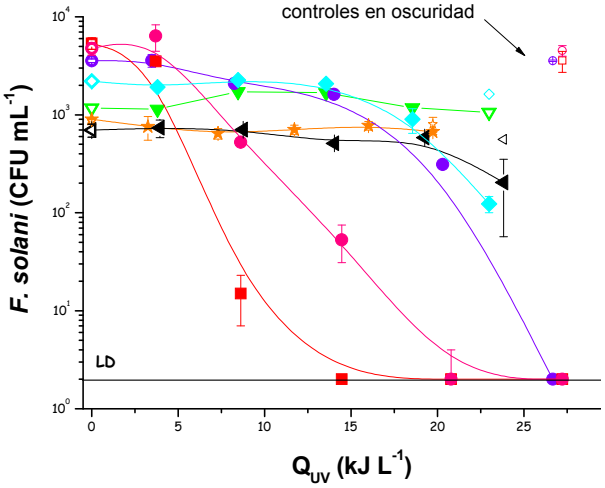


Figura 4.8 Desinfección de *F. solani* frente a Q_{UV} bajo luz solar natural en presencia de concentraciones de Fe^{3+} y H_2O_2 (sistema foto-Fenton) de 1 mg/L y 2.5 mg/L (●); 2.5 mg/L y 5 mg/L (■); 5 mg/L y 10mg/L (●); 10 mg/L y 10mg/L (◄); y 50 mg/L y 10 mg/L, respectivamente (▼), comparadas con el tratamiento SODIS (♦) (control solamente solar).

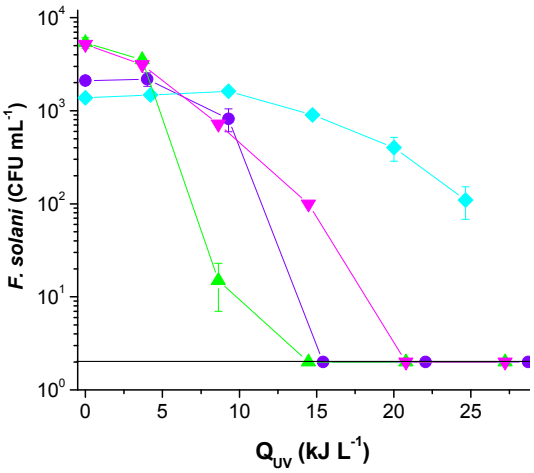


Figura 4.9 Esporas viables de *F. solani* frente a Q_{UV} bajo luz solar natural en presencia de concentraciones de H_2O_2 de 5 mg/L (●), de hierro de 2.5 mg/L (▼), y foto-Fenton: 2.5 mg/L de hierro y 5mg/L de peróxido (▲), comparadas con el tratamiento SODIS (♦) (control solamente solar).

El uso de aditivos como H_2O_2, Fe^{3+} y el sistema foto-Fenton junto con radiación solar para desinfectar agua contaminada con patógenos de elevada resistencia parece ser una buena alternativa al uso de desinfectantes químicos convencionales como los plaguicidas, los cuales son además perjudiciales para el medio ambiente. Estos nuevos métodos fotoquímicos solares han demostrado que tienen una elevada eficacia desinfectante utilizando cantidades muy pequeñas de reactivos, por lo que son métodos ambientalmente sostenibles, no suponen un alto coste. La investigación desarrollada permitirá llevar a cabo futuras aplicaciones para la desinfección de aguas. En el caso de agua de bebida, el tratamiento de desinfección solar permite inactivar a las enterobacterias causantes de diarreas y trastornos gastrointestinales en muchas áreas de países en vías de desarrollo. Para la desinfección del agua de riego es posible utilizar diferentes catalizadores, y el sistema de foto-Fenton supone una buena alternativa al uso de desinfectantes tradicionales.

Publicaciones: [4.26]-[4.31]

4.2.4 SFERA (Programa europeo de acceso a la PSA)

Solar facilities for the European Research Area

http://sfera.sollab.eu/

Participantes: CIEMAT (Coord., E), DLR (D), CNRS (F), PSI (CH), ETH (CH), WEIZMANN (IL), ENEA (I), DIN (Alemania), UPS (F), AUNERGY (E), CEA (F), INESC-ID (P).

Contacto: D. Diego Martínez Plaza, diego.martinez@psa.es
Dr. Isabel Oller Alberola (responsable programa de acceso), isabel.oller@psa.es

Financiación: EC, VII-FP. Programa específico de capacidades-Infraestructuras para investigación; 7,4 M€. Presupuesto CIEMAT: 2,2 M€.

Duración: Enero 2009 – Mayo 2013

Motivación: La energía solar concentrada es una fuente de energía renovable muy prometedora, cuya aplicación más conocida es la generación de electricidad mediante ciclos termodinámicos. Sin embargo, se ha demostrado que existen otras posibles aplicaciones también interesantes como son la producción de hidrógeno y combustibles solares, el tratamiento de aguas residuales y la investigación en materiales avanzados. Europa es líder en investigación y desarrollo de esta tecnología. Cinco de las instalaciones más grandes de Europa, CIEMAT-PSA, DLR, PROMES-CNRS, ETH y PSI forman parte de un laboratorio virtual conocido como SolLAB. Con el proyecto SFERA se pretende incluir en este consorcio a las instituciones ENEA y WEIZMANN con el objetivo de consolidar esta asociación como Laboratorio de Investigación Solar Europeo de referencia.

Este proyecto engloba tres actividades:

1) Creación de una red con el propósito de establecer un marco para la cooperación en el que se compartan los recursos, se desarrollen estándares comunes, se evite duplicar esfuerzos y se anime a interaccionar con la investigación, educación e industria europeas.
2) Acceso trans-nacional a las instalaciones de investigación y desarrollo más relevantes, optimizando el uso de la infraestructura correspondiente y creando masa crítica para nuevas iniciativas de investigación.

3) Investigación conjunta mediante el desarrollo de estándares y procedimientos comunes para lograr un mejor consorcio y desarrollar instrumentación avanzada con la que se mejoren los servicios ofrecidos a la comunidad de usuarios.

Objetivos: Dentro de los paquetes de trabajo que conforman el proyecto SFERA se encuentra el 7 correspondiente a la gestión coordinada de las actividades de acceso trans-nacional a la Plataforma Solar de Almería. El CIEMAT-PSA es coordinador de este paquete de trabajo así como del 6 relativo a la gestión del acceso trans-nacional a todas las instalaciones ofertadas dentro del consorcio formado en el projecto SFERA. El objetivo principal del acceso trans-nacional engloba el compromiso de las instalaciones a dar un acceso total de 484 semanas, a 174 grupos de investigación y 345 investigadores.

Las actividades de investigación desarrolladas en la PSA que acogen y dan servicio al plan de acceso a la PSA se organizan en tres unidades de I+D: Sistemas de Concentración Solar, Aplicaciones Medioambientales de la Energía Solar y la Gestión de la PSA. 18 científicos y 5 ingenieros técnicos pertenecientes a dichas unidades de I+D deberán apoyar a los usuarios durante los períodos de acceso haciendo que éstos puedan extraer el mayor beneficio posible de su estancia.

El grupo de detoxificación y desinfección de aguas en particular se ha comprometido en el proyecto SFERA a dar un total de 38 semanas de acceso, lo que se traduce en la visita de 48 usuarios como mínimo y un número estimado de proyectos de 24.

Objetivos alcanzados en 2010: Durante el año 2010 el grupo de detoxificación y desinfección de la PSA ha cubierto 20 semanas de acceso con 14 usuarios dentro de cinco proyectos de I+D. A continuación se presenta un resumen de dichos proyectos así como de los resultados más relevantes obtenidos durante dichas estancias:

1. *SOL-TROF: Tratamiento de la mezcla de dos antibióticos presentes en efluentes de EDAR mediante fotocatálisis solar homogénea a escala planta piloto.* Universidad de Chipre, del Departamento de Ingeniería Civil y Medio Ambiente.

Las investigadoras Evroula Hapeshi (supervisora) e Irene Michael realizaron una estancia de 4 semanas en total. El objetivo de este proyecto es el estudio de la capacidad de oxidación, el potencial de eliminación y la determinación de los principales intermedios de degradación de dos antibióticos seleccionados: trimetroprim y ofloxacin. Ambos antibióticos se han detectado en la salida de efluentes de tratamiento secundario y terciario de EDAR. En este proyecto el proceso de foto-Fenton solar en plantas piloto tipo CPC (reactor CADOX) se ha estudiado para la eliminación de dichos antibióticos contenidos en cuatro matrices diferentes: agua destilada (AD), agua simulada (AS) (estándar de agua fresca moderadamente dura), agua residual simulada (ARS) y efluente real de EDAR (ARR). En todas ellas se ha evaluado la eliminación del carbono orgánico disuelto, de la demanda química de oxígeno (en agua residual simulada y efluente de EDAR), la degradación individual de cada antibiótico mediante análisis cromatográficos, la generación de ácidos carboxílicos mediante cromatografía iónica y la toxicidad a lo largo del tratamiento mediante *Vibrio fischeri* y respirometría con fangos activos de EDAR. Finalmente la determinación de los caminos de degradación de ambos compuestos durante su tratamiento mediante foto-Fenton se ha llevado a cabo aplicando las técnicas de UPLC-MS/MS y UPLC-ToF-MS en colaboración con la Dra. Mira Petrovic en el Instituto de Evaluación Medioambiental e Investigación del Agua (CSIC) en Barcelona.

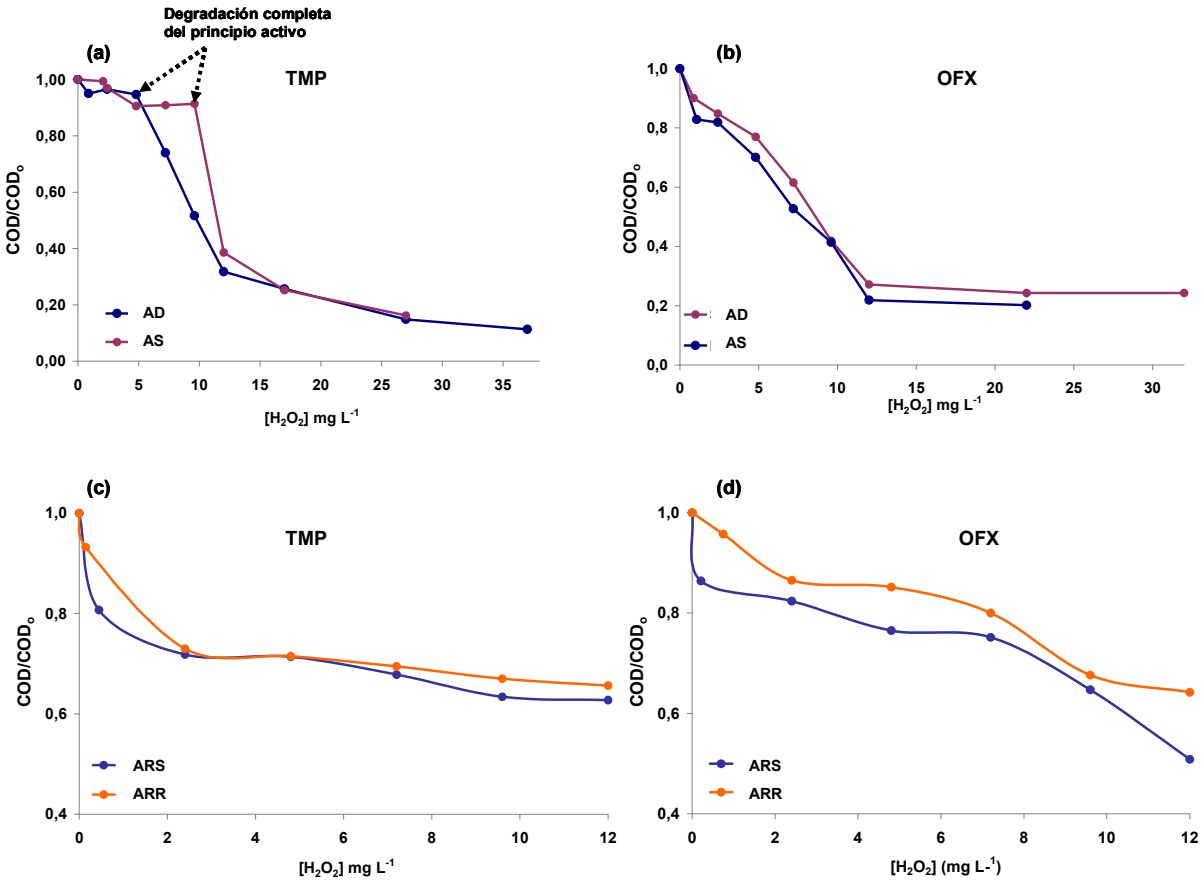


Figura 4.10 Degradación de trimetroprim (TMP) y ofloxacin (OFX) mediante foto-Fenton para cada tipo de matriz usada: (a) TMP: AD y AS; (b) OFX: AD y AS; (c) TMP: ARS y ARR; (d) OFX: ARS y ARR.

En la Figura 4.10 se presenta el porcentaje de mineralización (COD/COD_o) alcanzado durante la degradación de cada antibiótico para las distintas matrices estudiadas y en función del consumo total de H_2O_2 requerido en cada caso. Es importante mencionar que en el tratamiento de ambos antibióticos, la eliminación del COD fue algo más lenta en el caso del agua simulada que en el agua destilada debido a la presencia de diversos aniones (Cl^-, SO_4^{2-}, CO_3^{2-}, HCO_3^-, etc.) que compiten por el radical hidroxilo y por otras especies reactivas. Por otro lado, el uso de ARS y ARR provoca un aumento en la cantidad de carbono orgánico presente en disolución (25 y 10 mg/L, respectivamente) que provoca un descenso en la velocidad de mineralización comparada con la obtenida en AD y AS.

2. *RecaSolar: Eliminación de contaminantes orgánicos recalcitrantes presentes en lixiviados de vertedero municipal mediante la combinación de procesos avanzados de oxidación (basados en energía solar) y tratamientos biológicos.* Consejo Nacional de Investigación de Italia, del Instituto de Investigación del Agua (CNR-IRSA)

El doctor Giuseppe Mascolo (supervisor) y la investigadora Daniela Cassano realizaron una estancia de 4 semanas en total. El objetivo de este proyecto es la aplicación de Procesos Avanzados de Oxidación (PAO) basados en energía solar al tratamiento de un lixiviado de vertedero municipal parcialmente tratado mediante un reactor secuencial biológico aerobio granulado formando biofiltros (conocido con las siglas inglesas SBBGR). De esta forma se pretende

comparar la eficiencia del proceso avanzado de oxidación foto-Fenton con respecto al proceso de ozonización aplicado por los usuarios en su institución.

En primer lugar se llevó a cabo el tratamiento mediante foto-Fenton (50 mg/L de Fe2+) del lixiviado de vertedero pre-tratado biológicamente en un reactor SBBGR (en las instalaciones de los usuarios). La evolución del carbono orgánico disuelto (COD) y la demanda química de oxígeno (DQO) en función del consumo de H_2O_2 se presenta en la Figura 4.11(a). En ésta se observa que tras un consumo total de 25.3 mM de H_2O_2 se alcanza una reducción del COD del 59% y del 68% para la DQO. En segundo lugar, se aplicó el proceso de foto-Fenton al lixiviado de vertedero tras su pre-tratamiento mediante un proceso integrado compuesto por un SBBGR y un sistema de ozonización, con la idea de reducir el elevado consumo de ozono necesario para alcanzar los límites de vertido de COD (160 mg/L) a alcantarillado en Italia. El efluente utilizado para este experimento fue obtenido en el sistema integrado SBBGR/O_3 disponible en las propias instalaciones de los usuarios en CNR-IRSA (Italia) y enviado a la PSA con este propósito. Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 4.11(b). En esta gráfica se observa que tras un consumo de 44.4 mM de H_2O_2 se ha logrado mineralizar el 79% del COD y reducir la DQO en un 82%.

Los resultados obtenidos en este proyecto demuestran que el uso del proceso de foto-Fenton como un tratamiento terciario es una opción muy interesante cuando se pretende alcanzar un grado de mineralización tal que cumpla con los límites de vertido a alcantarillado de Italia. Por último, en este proyecto también se llevaron a cabo ensayos de toxicidad aguda mediante *Vibrio fischeri* y respirometría con fangos activos de EDAR. Estos resultados muestran cómo el uso de foto-Fenton como tratamiento terciario de lixiviados de vertedero municipal no sólo permite alcanzar los límites de vertido con respecto a COD sino que, además, reduce o mantiene en valores mínimos la toxicidad que esta agua residual puede presentar inicialmente.

3. *PHOTOCAT-SODIS: Evaluación de un reactor solar fotocatalíticamente recubierto para desinfección.* Royal Collage of Surgeons in Ireland (RCSI) e Instituto de Tecnología de Dublín (CREST-DIT)

Los doctores Kevin McGuigan y Suresh Pillai (supervisores) y los investigadores Mike Fisher y Donal Keane realizaron una estancia de 3 semanas en total. El objetivo de este proyecto es la evaluación de un recubrimiento fotocatalítico de TiO_2 estable situado en la cara interna de botes de vidrio para la degradación de azul de metileno y la desinfección solar de aguas (SODIS).

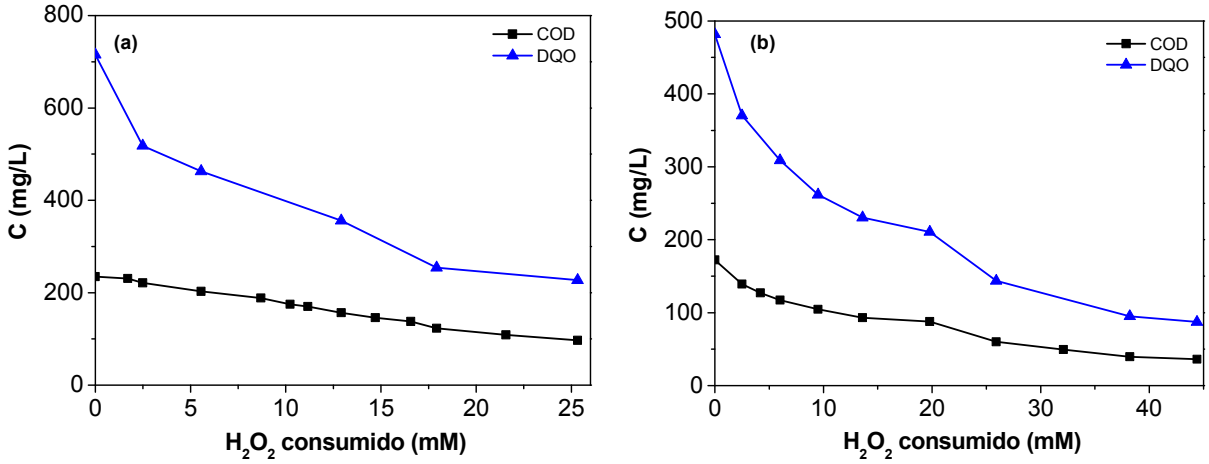


Figura 4.11 Eliminación del COD y la DQO durante el tratamiento mediante foto-Fenton de: (a) lixiviado de vertedero pre-tratado mediante SBBGR y (b) lixiviado de vertedero pre-tratado mediante SBBGR y ozonización.

Estos botes de vidrio de borosilicato fueron preparados previamente a su evaluación en la PSA. Esta preparación consistió en su recubrimiento con TiO_2 dos veces por inmersión y su calentamiento a 600º C.

Los datos cinéticos correspondientes a la disminución de absorbancia del azul de metileno muestran que la actividad fotocatalítica del bote recubierto es aproximadamente el doble que el del bote sin recubrir. Sin embargo, no se encontró ninguna diferencia en la actividad entre botes recubiertos con TiO_2 dopados o sin dopar con cobre u otras especies.

Por otro lado se llevó a cabo el estudio de la actividad desinfectante de estos botes recubiertos con TiO_2 mediante el análisis de la inactivación de E. coli (gram negativa) y *E. faecalis* (gram positiva) bajo radiación solar natural. Los resultados obtenidos mostraron una velocidad de inactivación de ambas especies más rápida en presencia de TiO_2 dopado con cobre que en presencia de TiO_2 con otros dopantes, sin dopantes o usando los botes sin recubrimiento.

4. *SOLFED: Evaluación de la acción desinfectante del proceso foto-Fenton en reactor solar CPC para la eliminación de varios patógenos.* Universidad Técnica de Creta (Grecia), Departamento de Ingeniería Ambiental.

Los doctores Dionissios Mantzavinos y Theodora Velegraki (supervisores) y la investigadora Athanasia Katsoni realizaron una estancia de 4 semanas en total. Los objetivos de este proyecto se enumeran a continuación:

- Llevar a cabo el entrenamiento de los investigadores visitantes en los fundamentos de la aplicación del proceso foto-Fenton a la desinfección de aguas y en los protocolos de enumeración y cuantificación de *Fusarium solana* (hongo), *Phytophthora capsici* (hongo) y *Pseudomonas syringae* (bacteria).
- Ensayar la eficiencia de PAO basados en energía solar: $Fe^{2+}/Fe^{3+}/H_2O_2$/solar UVA para la desinfección de aguas contaminadas con los patógenos arriba mencionados, usando fotoreactores tipo CPC a escala planta piloto.

En las Figura 4.12 (a) y (b), se presenta la acción desinfectante de la fotocatálisis solar en botes de vidrio y en fotoreactores solares, respectivamente. En la Figura 4.12 (a) se muestra la inactivación de *F. solani* en ARS. Los resultados muestran que la luz solar directa (SODIS) tiene un efecto fungicida,

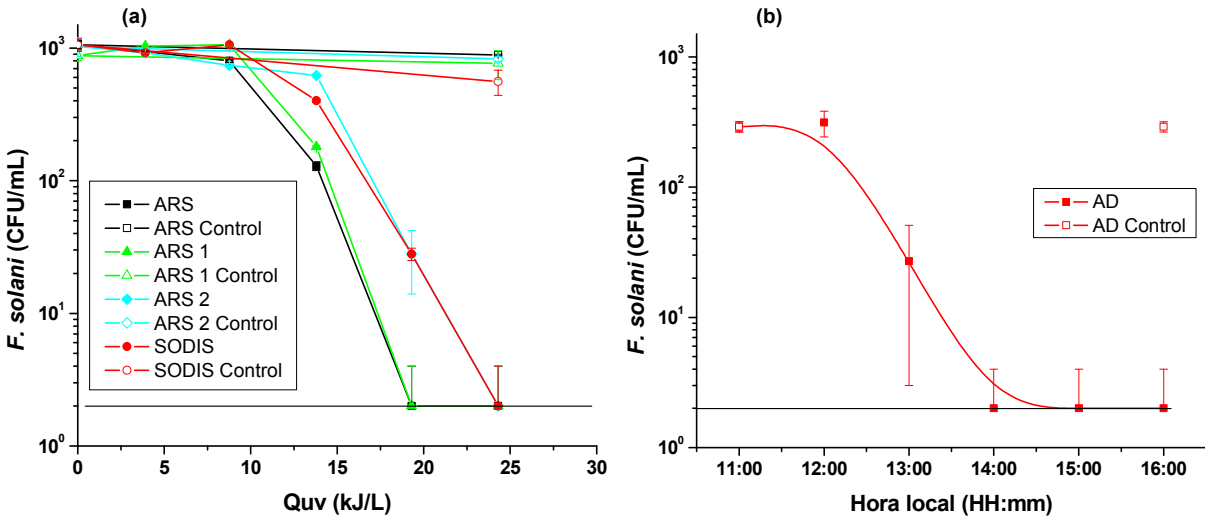


Figura 4.12 Inactivación de F. solani mediante foto-Fenton y radiación solar en: (a) en ARS y botes de vidrio a escala de laboratorio y (b) en AD y fotoreactores solares tipo CPC a escala planta piloto.

sin embargo, este efecto es más rápido cuando se aplica el proceso de foto-Fenton. Este tratamiento fotocatalítico causó un descenso de 3-log en la viabilidad de *F. solani* tras cinco horas de ensayo. Por otro lado, en la Figura 4.12(b) se muestra la inactivación de *F. solani* en reactores tipo CPC con AD como matriz. En ésta se muestra la inactivación completa de las esporas en cuatro horas de tratamiento mediante foto-Fenton, una vez que el sistema recibió un mínimo de 35 kJ/L de energía solar UV.

5. *SODIS-SENSOR: Desarrollo de un sensor dosimétrico de radiación UVA para la desinfección solar de agua.* Universidad de Ulster (Reino Unido), del Departamento de Nanotecnología y el Centro Integrado de Bioingeniería (NIBEC)

Los doctores Anthony Byrne y Patrick Dunlop (supervisores) y la investigadora Emma Magee realizaron una estancia de 5 semanas en total. Los objetivos de este proyecto se enumeran a continuación:

- Llevar a cabo el entrenamiento de los investigadores visitantes en los fundamentos de la fotoquímica solar en las instalaciones únicas de desinfección de la PSA.
- Teniendo en cuenta algunas de las desventajas que presenta la desinfección solar de aguas (SODIS), como es la variación de eficiencia con la intensidad de luz incidente, se plantea la necesidad del uso de sensores dosimétricos de UVA que pueden indicar al usuario cuando el proceso de desinfección se ha completado.
- Determinar la concentración activa de compuesto necesaria para mostrar un cambio de color visible una vez adsorbida la cantidad de radiación solar UVA considerada como "letal" para la inactivación de un determinado microorganismo.

Los sensores SODIS se basan en reacciones redox asociadas al dióxido de titanio excitado con radiación UVA. La eficiencia de estos sensores se demostró mediante su exposición a la luz solar en las instalaciones de la PSA. Se registró el tiempo necesario hasta que se observó un cambio de color completo y la dosis de UVA se calculó usando la intensidad de UVA medida por los radiómetros fijos que se encuentran en las instalaciones de detoxificación y desinfección de la PSA. En la Figura 4.13 se muestra el cambio de color observado cuando se usó el sensor SODIS basado en resazurin. Durante la exposición a la radiación solar de este sensor, el color inicial azul rápidamente cambia a rosa, lo que demuestra que el proceso de SODIS ha comenzado. Si continúa la exposición solar, el sensor pasa a un color blanco que indica que la dosis necesaria de UVA ya ha sido recibida.

Finalmente, los sensores dosimétricos UVA se usaron en el seguimiento del

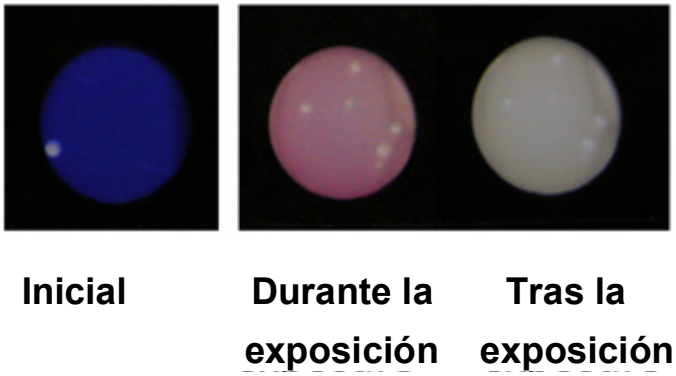


Figura 4.13 Cambio de color observado durante la exposición solar del sensor SODIS basado en resazurin.

proceso SODIS. Para ello, se tomaron muestras de agua de pozo que se contaminaron con *E. coli* K12 y se expusieron a la radiación solar en los fotoreactores solares SODIS (tipo CPC). Además, un rango de sensores que muestran cambios de colores correspondientes a dosis UVA de entre 30 y 60 Wh/m^2 se expusieron a la radiación solar durante los experimentos de SODIS. Tras dos horas de exposición solar se logró alcanzar la completa desinfección del agua. De forma paralela los sensores SODIS cambiaron de color de acuerdo con la dosis de radiación recibida, demostrando así su aptitud para predecir el punto final de la desinfección solar.

4.2.5 Plan Nacional de Acceso a la PSA.

Participantes: Universidad de Santiago de Compostela; Universidad de Extremadura; Universidad de Sevilla; Universidad de Barcelona; Facultad Regional de Buenos Aires (Universidad Tecnológica Nacional, ARG).
Contacto: Dr. Manuel I. Maldonado. mignacio.maldonado@psa.es
Financiación: Plan Nacional de I+D+i, MEC.
Duración: 2010

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 2010 a disposición de la comunidad científica las instalaciones y el asesoramiento del personal técnico-científico de la PSA, a través del Programa Nacional de Infraestructuras Científico-Tecnológicas. Subprograma de Diseño, Viabilidad, Acceso y Mejora de Instalaciones Científicas y Técnicas Singulares (ICTS), dentro del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2008-2011 (Ref. ICTS-2009-36).

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 2010: Los investigadores seleccionados por el comité de evaluadores externos y pertenecientes a diferentes G.I españoles han conseguido los siguientes resultados.

1. *Aplicación del H_2O_2 en la desinfección solar de aguas contaminadas con Cryptosporidium.* Universidad de Santiago de Compostela, Laboratorio de Parasitología; Facultad de Farmacia. Investigadores: Elvira Ares Mazás.

El objetivo fue estudiar la aplicación del peróxido de hidrógeno (H_2O_2) en la desinfección solar de aguas contaminadas con Cryptosporidium. Para ello se expusieron a la radiación solar durante un tiempo de 5 horas 4 frascos reactores de 500 mL conteniendo las formas infectantes de Cryptosporidum parvum en una concentración de 10 x 106 ooquistes/litro y colocados sobre un agitador mecánico (100 rpm).

A las 2.5 horas de exposición y al final del ensayo se recogieron de cada uno de los frascos reactores 15 mL de agua que se centrifugaron dos veces a 3000 rpm durante 10 minutos. De cada uno de los sedimentos obtenidos se tomaron 100 µL que se incubaron a 37ºC durante 30 minutos con 20 µL de un anticuerpo monoclonal anti-Crypstosporidium y 10 µL de ioduro de propidio

(IP), un colorante vital fluorogénico indicativo de la integridad de la pared ooquística. Mediante microscopía de epifluorescencia con los filtros de excitación y barrera adecuados, inicialmente se identificaron los ooquistes y a continuación se observó la adquisición/exclusión del citado colorante vital. Paralelamente y mediante microscopía de contraste de fases, se determinó el fenómeno de desenquistamiento espontáneo mediante el cual, y en ausencia de otros estímulos desencadenantes de dicho fenómeno y con excepción de la temperatura alcanzada en el interior de los reactores, un cierto múmero de ooquistes se desenquistan total o parcialmente por lo que los esporozoitos contenidos en su interior se liberan al medio acuoso haciendo su supervivencia imposible al encontrarse fuera del ambiente que proporcionaría un hospedador susceptible. Establecidos estos dos parámetros: el porcentaje de ooquiestes IP negativos (ooquistes potencialmente viables) y el porcentaje de ooquistes no desenquistados o intactos, se calculó el parámetro de Viabilidad Global (VG).

Los resultados en el aislado de ooquistes de C. parvum utilizado en los experimentos fueron: Viabilidad global 97.62%, IP negativos 99.04%, IP positivos 0.96%, Cáscaras 1.43%, Intactos 98.57 %. Como conclusión se establece que los resultados demuestran que la concentración de H_2O_2 ensayada no mejora la eficacia del método SODIS convencional.

2. *Estudio, a nivel de planta piloto, de la degradación de atenolol, ofloxacina, hidroclorotiazida y trimetoprima en agua mediante ozonación, TiO_2/luz solar y ozonación + TiO_2/luz solar.* Universidad de Extremadura. Departamento de Ingeniería Química y Química Física. Investigadores: Gracia Márquez Matamoros y Eva María Rodríguez.

Metodología: la eficacia de los sistemas de degradación se ha estudiado en función de la concentración de contaminantes, la concentración de COT y la toxicidad de las muestras en función de variables como el tiempo de contacto y el consumo de ozono (durante la ozonación) o la dosis de radiación UV-A aplicada (en el sistema TiO_2/luz solar). El estudio se desarrolló utilizando como matrices agua destilada y un agua que simula un efluente residual procedente de una EDAR.

En el sistema TiO_2/ luz solar tanto los compuestos iniciales como los intermedios de reacción formados no son tóxicos en estas concentraciones frente al ensayo de toxicidad con vibrio fischeri.Se eliminaron los compuestos tras 75 min de reacción, excepto la ofloxacina, que parece mucho más reactivo frente a los radicales hidroxilos. Eliminación de un 80% de la concentración de COT tras 180 min de reacción

Durante la Ozonación tanto los compuestos iniciales como los intermedios de reacción formados no son tóxicos en estas concentraciones frente al ensayo de toxicidad con *vibrio fischeri*. Sin embargo, la eliminación de los compuestos es lenta y dependiente de la concentración de ozono. Con este sistema se alcanzó una eliminación menos importante de COT que en el tratamiento fotocatalítico, obteniéndose bajo las mejores condiciones un 40% de degradación.

En el caso de la combinación Ozonación + TiO_2/Luz solar la eliminación de la concentración de COT es más rápida al comienzo de la reacción fotocatalítica si se realiza una etapa previa de ozonización, tal como se muestra en la Figura 4.14. Además se generan menos compuestos fenólicos y se degradan en menor tiempo.

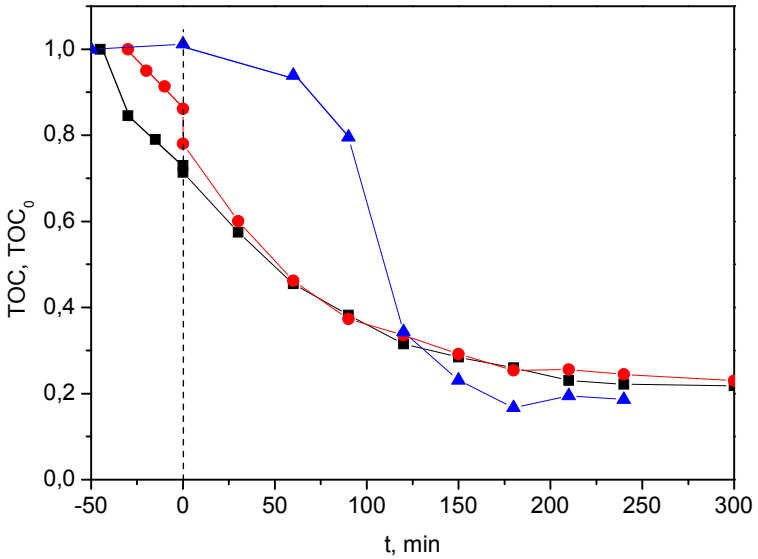


Figura 4.14 Eliminación de COT de la mezcla de compuestos en agua en una concentración de 10 ppm mediante el sistema luz solar/ TiO_2 con y sin etapa de iniciación previa. Símbolos: ■ eliminación de un 27% de COT mediante ozonización; ● eliminación de los compuestos mediante ozonización; ▲ sin ozonización previa.

Cuando se realiza el tratamiento en efluente de EDAR simulado la matriz ejerce un efecto negativo en la eliminación de compuestos durante el proceso fotocatalítico, aumentando el tiempo de eliminación de compuestos de 15 min a 45 min. La eliminación de COT alcanzada tras 5horas de tratamiento es de un 51,7%. En el caso de ozonización, la eliminación de los compuestos no se vio tan influenciada por la matriz como en el caso de la fotocatálisis, eliminándose los compuestos en 10 min de ozonización pero la eliminación de TOC fue de tan solo un 8% tras dos horas de ozonización. Si se realiza el tratamiento de la mezcla de compuestos mediante ozonización y la posterior fotocatálisis la velocidad de eliminación del COT es mayor durante 120 minutos de reacción, además los compuestos polifenólicos se generan en menor medida y se eliminan con una mayor velocidad.

3. *Tratamiento electroquímico de contaminantes emergentes en planta piloto mediante el proceso fotoelectro-Fenton solar.* Universidad de Barcelona. Facultad de Química. Departamento de Química-Físisca. Laboratorio de Electroquímica, de Materiales y del medio ambiente.Investigador: Ignacio Sirés Sadornil.

El objetivo de este trabajo fue doble: (i) familiarizarse con el sistema electroquímico-fotoquímico disponible ya que se trata de una nueva instalación de la PSA, y que por tanto no existían estudios previos, de manera que este trabajo tiene un importante aspecto innovador y prometedor en cuanto a la transferencia tecnológica; (ii) llevar a cabo estudios preliminares del efecto de las condiciones operatorias sobre la destrucción de un contaminante emergente (progesterona).

El reactor electroquímico está descrito en el proyecto EDARSOL. Cabe destacar los siguientes resultados más relevantes: (i) el punto más importante ha sido la identificación de los puntos críticos de la configuración del sistema electroquímico-fotoquímico, optandose por una configuración tanque-CPC-reactor electroquímico-tanque; (ii) se ha demostrado la gran capacidad del reactor electroquímico para generar H_2O_2 de manera continua y en cantidades suficientes como para llevar a cabo la reacción de Fenton; (iii) la capacidad

oxidativa para la mineralización. El proceso fotoelectro-Fenton solar es el único que se ha mostrado capaz de destruir todo el carbono contenido en las disoluciones de progesterona (Figura 4.15). En conclusión, el proceso fotoelectro-Fenton solar es capaz de producir la rápida destrucción de la progesterona, así como la progresiva y total mineralización de grandes volúmenes de sus disoluciones. En el futuro será necesaria la optimización de varios parámetros experimentales, sobre todo la concentración de catalizador metálico y la intensidad de corriente aplicada.

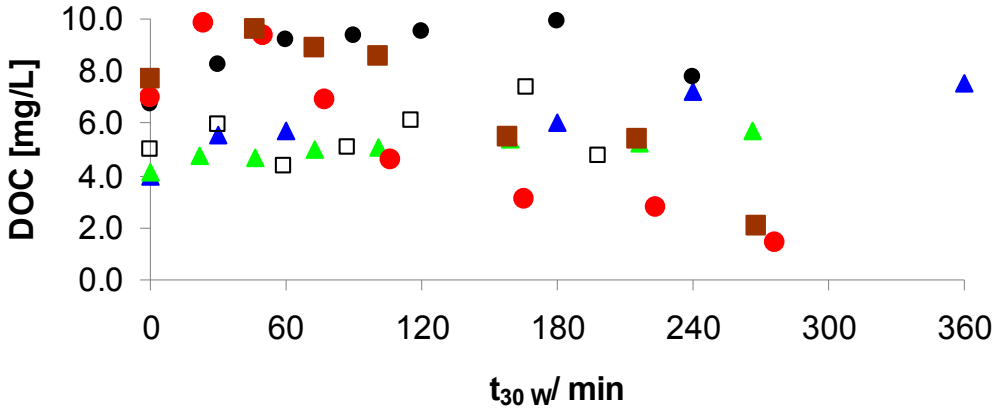


Figura 4.15 Mineralización de las disoluciones de progesterona tratadas en diferentes condiciones. Solo luz solar (□), Oxidación anódica (OA) a 10 A (▲), OA+luz zolar a 10 A (▲) electroFenton (EF) a 10 A (●), y foto-electro-Fenton (FEF) a 10 A (●) y a 15 A (■).

4. *Eficacia de la desinfección solar de aguas contaminadas con virus entéricos (Virus de la hepatitis A, Norovirus y rotavirus) a escala piloto y de sistemas solares foto-Fenton.* Universidad de Santiago de Compostela. CIBUS-Facultad de Biología. Dpto. de Microbiología y Parasitología.Investigadores: Jesús López Romalde y David Polo Montero.

Se propuso como objetivo de este trabajo determinar la eficacia de la desinfección solar (SODIS) en agua contaminada con virus entéricos (virus de la hepatitis A, norovirus y rotavirus). Se realizaron los ensayos en agua clara evaluándose diferentes tiempos de exposición a la acción de la radiacción solar (2, 4, 6 y 8 horas), realizando cada ensayo por triplicado. La concentración viral se llevó a cabo a partir de las muestras de agua mediante filtración. La detección y cuantificación viral se determinó mediante la técnica de RT-PCR

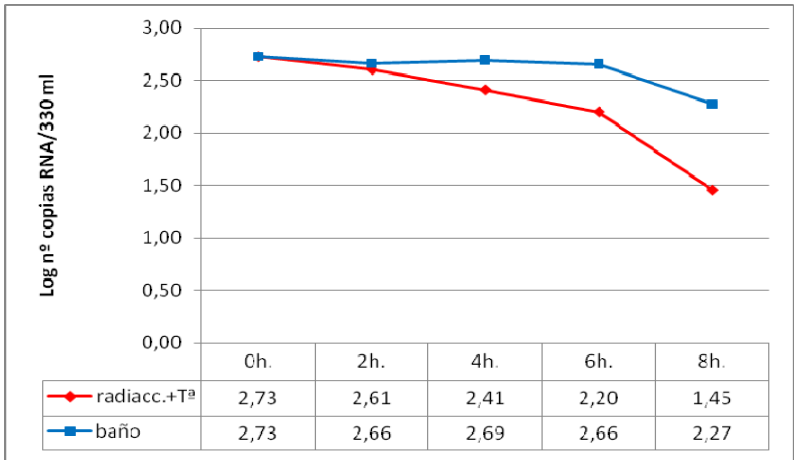


Figura 4.16 Efecto de la radiación (azul) y de la radiación más la temperatura (rojo) en la concentración vírica de las muestras.

en tiempo real. En los ensayos realizados con concentraciones iniciales de 10^3 partículas víricas HAV/ml de agua, los datos muestran un claro efecto de la temperatura sobre la detección y cuantificación viral. En el caso de las muestras sometidas a la acción de la radiación solar y temperatura (rojo) el descenso es de más del 90%. En la Figura 4.16 se muestra en azul la dinámica observada en las botellas expuestas al sol y mantenidas en baño como control de temperatura. En rojo se muestra la dinámica para las muestras expuestas a la acción de la radiación solar y la temperatura.

5. *RUVPI (Radiación UV en el plano inclinado).* Universidad Tecnológica Nacional (Arg). Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad Regional Buenos Aires. Investigador: Christian Navntoft.

Las tecnologías de tratamiento de aguas basadas en el uso de energía solar constituyen una de las soluciones viables y ambientalmente sustentables para países en desarrollo. Para ello, es necesario contar con metodologías de estimación del recurso solar UV en distintas latitudes. El objetivo del trabajo propuesto es poder determinar, la irradiación UV media mensual promedio en el plano inclinado con respecto a la del plano horizontal para cualquier inclinación y cualquier latitud. De esta manera, las metodologías ya mencionadas podrán extenderse a los sistemas en plano inclinado y el recurso solar UV podrá estimarse en cualquier latitud y en cualquier inclinación, ayudando así a difundir el uso de las tecnologías solares de tratamiento y desinfección de aguas.

Tres radiómetros (denominados radiómetros 1, 2 y 3 en la Figura 4.17) de radiación solar UVA global instalados en la Plataforma Solar de Almería se utilizaron para la medida de la radiación. Éstos se colocaron durante el mes agosto de 2010 en posición horizontal adquiriendo datos de modo que estas medidas se compararon con otros datos de radiación tomados en las mismas condiciones para identificar errores o derivas en los equipos. Las medidas en días despejados en el mismo mes (agosto 2010) se compararon con la predicción del modelo de transferencia radiativa 'TUV 4.1' (Figura 4.17) y se hicieron las correcciones de deriva de los equipos.

Este trabajo permitió realizar un análisis de la radiación UV solar que incide sobre un plano horizontal y un plano inclinado durante cuatro años consecuti-

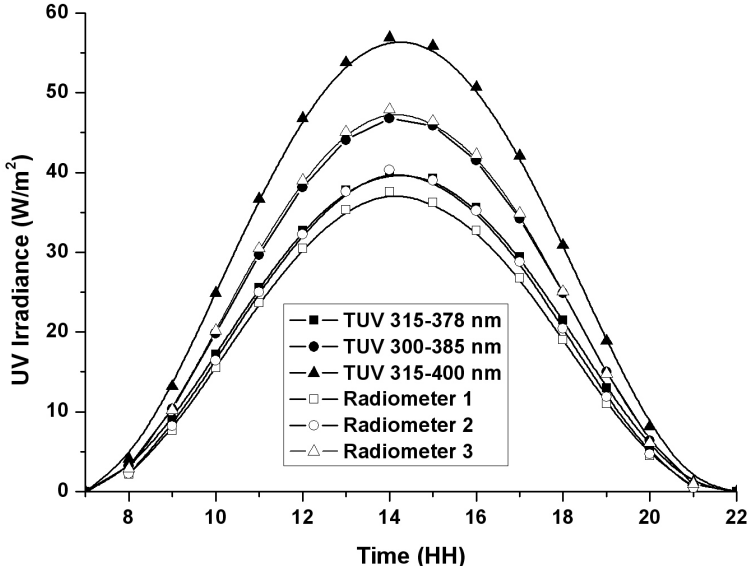


Figura 4.17 Comparación de las medidas de los radiómetros 1 2, 3 y la predicción del modelo TUV 4.1 en un día despejado de agosto de 2010 en la Plataforma Solar de Almería.

vos en la Plataforma Solar de Almería. Se realizó una comparación de los datos con un modelo de radiación solar global y una correlación entre los datos de radiación en plano inclinado y horizontal. Estos resultados se pueden utilizar para la implementación de una planta piloto de tratamiento fotocatalítico solar de aguas.

6. *Depuración de lixiviados de vertederos de RSU mediante fotocatálisis solar usando residuos industriales de la producción de TiO_2 como agentes activos* Universidad de Sevilla. E.T.S. de Ingenieros. Departamento de Ingeniería Química y Ambiental/Ingeniería de Residuos. Investigadores: Rodrigo Poblete Chavez; Luis F. Viches Arenas y Emilia Otal Salaverri.

Como objetivo se planteó evaluar el potencial fotocatalítico del residuo del primer ataque ácido de la ilmenita utilizando luz solar para la depuración de lixiviados de vertederos utilizando reactores solares comparado con un proceso foto-Fenton tradicional. Los resultados muestran que al emplearse $WTiO_2$ como catalizador se consigue una reducción del TOC mayor que al emplearse $FeSO_4$, 63% y 52%, respectivamente, con lo cual se concluye que $WTiO_2$ tiene un alto potencial como catalizador. Su mayor capacidad depuradora se debe a que posee dos agentes catalizadores, generándose más agentes oxidantes. Los resultados obtenidos muestran que el aporte del Fe a la cinética de reacción es mucho mayor que el que presenta TiO_2, aunque se observa que existe sinergia entre ambos. La mineralización completa no fue posible, en las fases finales del experimento la eliminación del TOC y de la DQO fue muy lenta, lo cual es comprensible dada la complejidad del liquido a tratar, los lixiviados de vertederos tienen en su matriz una gran variedad de compuestos, dentro de los cuales deben existir algunos que logran resistir el ataque de los radicales hidroxilo.

Publicaciones: [4.32]-[4.39]

4.2.6 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 (PLE), PWA (PLE), 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-FP. 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 2010: La PSA (CIEMAT) ha sido coordinadora del grupo de expertos 2 (WP2), formado por 10 participantes. Este grupo ha abordado 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 están: (i) el establecimiento de un foro común para el intercambio de información 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 se ha publicado a inicios de 2011 como un capítulo de: Waste water tratment and reuse in the Mediterranean Region. D. Barceló and M. Petrovic (Eds.). Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Germany.; (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.

4.3 Grupo de Detoxificación en Aire

4.3.1 NANOTITAN

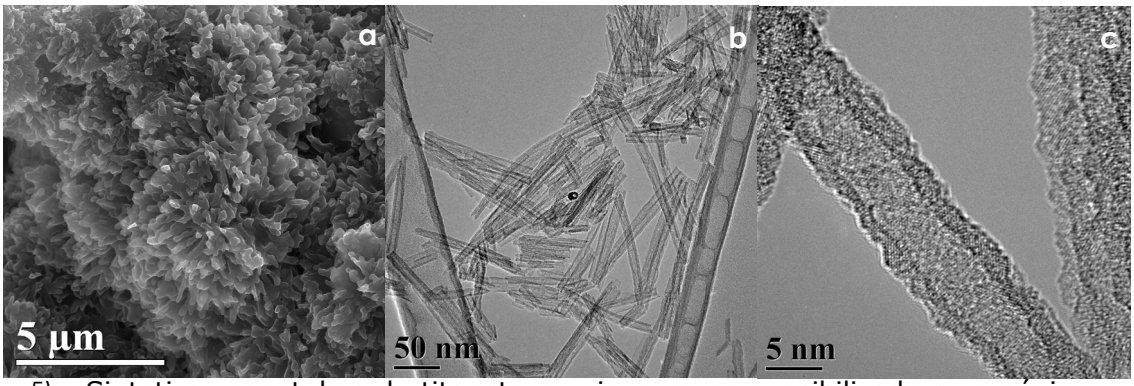
Nuevos fotocatalizadores para aplicaciones solares basados en nanoestructuras unidimensionales de TiO_2 obtenidas por funcionalización de titanatos

Participantes: CIEMAT_PSA

Contacto: Dra. María D. Hernández Alonso; mdolores.hernandez@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, 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 tamaños de poros. Además, la estrecha 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.



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

Logros alcanzados en 2009-2010: Durante el año 2010, segundo año de proyecto, el estudio se ha centrado en la consecución del objetivo 2, además de haberse iniciado pruebas preliminares para la consecución de los objetivos 3-

Figura 4.18 (a) Imagen de SEM y (b) y (c) micrografías de TEM de uno de los materiales sintetizados

5. Anteriormente, en la primera fase del proyecto, se realizó un estudio de optimización del método de síntesis, analizando la influencia de los distintos parámetros del proceso en la morfología y características físico-químicas de los materiales, analizadas por microscopía electrónica de transmisión (TEM), difracción de rayos X (DRX) e isotermas de adsorción de N_2. En la segunda fase del proyecto, desarrollada durante 2010, se ha evaluado la actividad fotocatalítica de las estructuras unidimensionales sintetizadas, teniendo el cuenta el efecto que tienen sobre la fotoactividad los distintos parámetros de síntesis: fase de TiO_2 usada como precursor, la temperatura y duración del tratamiento hidrotermal, procedimiento de lavado posterior, etapa que ha demostrado ser clave en el proceso de formación de los nanotubos, así como la temperatura de calcinación empleada. El objetivo del estudio ha sido seleccionar las condiciones óptimas de síntesis que dan lugar a una mejor actividad fotocatalítica.

Se ha seleccionado el Tricloroetileno (TCE) como compuesto orgánico volátil (C la comp n, aden as cond til (DCA a una a- men

En ad de la de sínte os eleva e- renci ad a CO

Publi

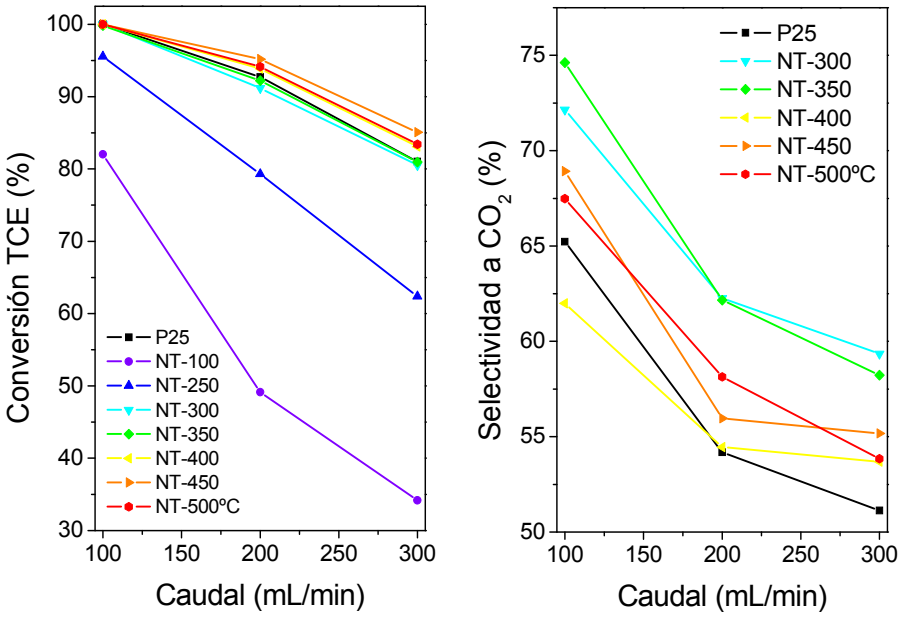


Figura 4.19 Efecto de la temperatura de calcinación sobre la conversión de TCE y selectividad a CO_2 de una de las muestras de nanotubos sintetizadas.

4.3.2 CEDETI-COMSA

Evaluación y desarrollo de materiales de construcción fotocatalíticos para su empleo como elementos de descontaminación atmosférica

Participantes: CIEMAT-PSA, COMSA EMTE
Contacto: Dr. Benigno Sánchez; benigno.sanchez@ciemat.es
Financiación: COMSA EMTE, 90 k€
Duración: Enero 2010 – Diciembre 2011

Motivación / Antecedentes: En los últimos años los tratamientos fotocatalíticos de descontaminación, basados en el empleo de TiO_2, están alcanzando una etapa de desarrollo comercial creciente. Uno de los campos en los que esta tecnología está experimentando una mayor expansión es en la utilización de elementos arquitectónicos que incorporan TiO_2. Los recubrimientos fotocatalíticos presentan propiedades autolimpiantes y pueden, además, actuar como sistemas pasivos (sin mantenimiento) para el tratamiento de la contaminación atmosférica. En este sentido cabe destacar que los materiales de construcción fotocatalíticos representaron un volumen de negocio de más de 300 millones de euros en Japón en 2004. Sobre esta base, el Grupo COMSA EMTE ha contactado con el Grupo de Aplicaciones Ambientales de la Radiación Solar en Aire, con objeto de evaluar la eficiencia de diferentes sistemas fotocatalíticos preparados por sus compañías asociadas.

Objetivos:

1) Como objetivo principal se propone evaluar la eficiencia en condiciones reales de materiales de construcción fotocatalíticos fabricados por la empresa.
2) Para ello, el grupo de Ciemat realizará ensayos en placas a escala de laboratorio
3) Realización de ensayos en superficies controladas expuestas al exterior.
4) Por último la empresa solicitará realizar igualmente la caracterización y seguimiento de una superficie mayor en un ambiente urbano de la ciudad de Barcelona.

Logros alcanzados en 2010: Durante la primera anualidad del proyecto, se han caracterizado y evaluado a escala laboratorio diversos materiales de construcción entregados por la empresa. Se han realizado ensayos de actividad fotocatalitica para la degradación de tricloroetileno (TCE), como primera etapa de evaluación de los materiales, y posteriormente se ha analizado la actividad de los materiales en la degradación de óxido nítrico (NO). Además de este compuesto, se ha analizado la posible formación de otros productos de reacción no deseados como el dióxido de nitrógeno (NO_2) o el óxido nitroso (N_2O). Los distintos ensayos realizados han permitido discriminar qué materiales y aditivos del asfalto resultan más adecuados para la eliminación de NO. En la Figura 4.20 se muestra un ejemplo de los ensayos realizados con las diferentes muestras preparadas con materiales comerciales. Se puede observar claramente el efecto de la radiación UV en la degradación de NO con el tiempo de reacción y la escasa formación de NO_2.

Por otro lado, se está poniendo a punto el sistema de reacción para evaluar la actividad de las placas de asfalto fotocatalíticas a la intemperie en condiciones reales de aire exterior.

Publicaciones: Se han entregado tres informes confidenciales a la empresa COMSA EMTE.

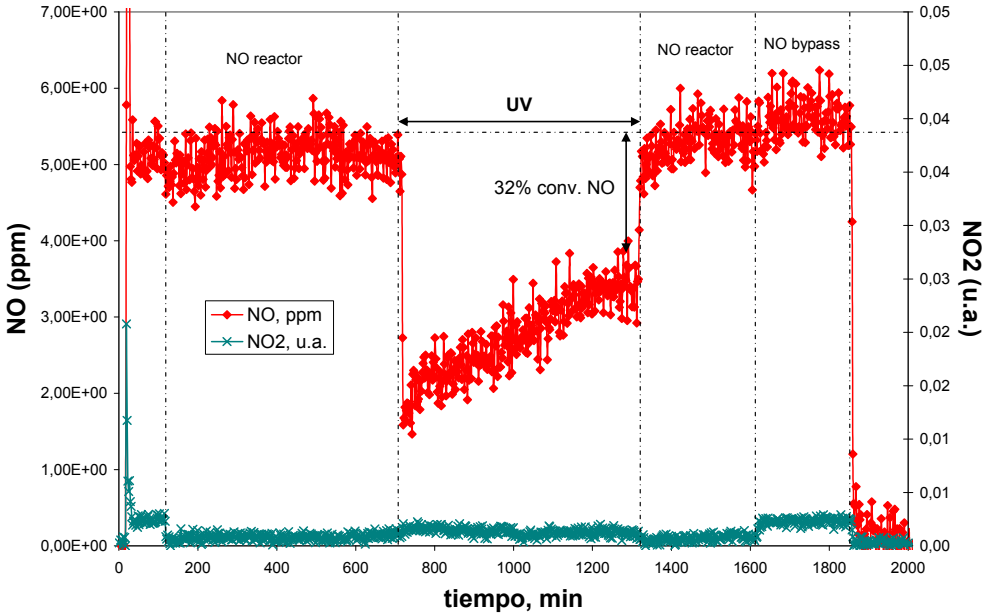


Figura 4.20 Variación de la concentración de NO y del NO_2 durante la degradación fotocatalítica de NO para uno de los asfaltos fotocatalíticos ensayados.

4.3.3 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:

1) Identificar sistemáticamente los COVs existentes en diferentes tipos de edificios (oficina, laboratorio, fábrica y vivienda).
2) 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.
3) 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.
4) Desarrollar materiales híbridos estructurados basados en adsorbente y fotocatalizador.
5) 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 2010: Durante el segundo año del proyecto se ha profundizado en la caracterización de los contaminantes del aire así como en el desarrollo de una técnica adecuada para su cuantificación. Para ello se han seleccionado ambientes de diferente naturaleza. Por un lado, se ha elegido una estación depuradora de aguas residuales (EDAR), representativa de una aplicación industrial real, donde se emiten una amplia variedad de compuestos orgánicos e inorgánicos. Por otro lado, se han elegido dos edificios pertenecientes al CIEMAT, uno de ellos unos treinta años de antiguedad Edf. 42 y otro un edificio bioclimatico de construcción reciente. El objetivo es analizar la influencia del tipo de construcción en la naturaleza y concentración de los contaminantes. Se han seleccionado diferentes espacios como laboratorios, despachos, zonas comunes, aseos, biblioteca, entre otros. Se ha profundizado en la preparación de materiales estructurados para el tratamiento fotocatalítico del aire contaminado y en el desarrollo de reactores para la incorporación del fotocatalizador y el uso de la radiación solar. En la Figura 4.21 se muestra un ejemplo de los resultados obtenidos con uno de los fotocatalizadores desarrollados en el proyecto, para la eliminación de contaminantes procedentes de una EDAR. Para analizar la efectividad del sistema, se recogieron muestras del aire procedente de fangos primarios antes y después del reactor. Se trata de muestras complejas con una amplia variedad de compuestos. Entre ellos cabe destacar la presencia de compuestos de azufre (mercaptanos), hidrocarburos aromáticos, hidrocarburos alifáticos y terpenos. Los resultados obtenidos muestran la efectividad del tratamiento fotocatalítico, de forma que el sistema desarrollado es capaz de eliminar la mayor parte de los compuestos presentes en el aire con una efectividad superior al 90%.

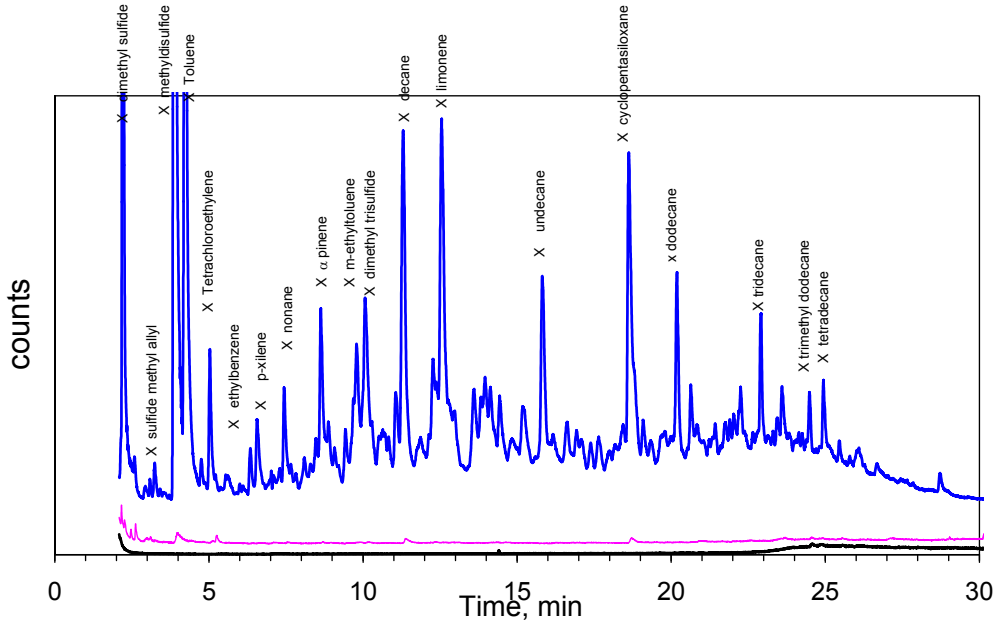


Figura 4.21 Tratamiento fotocatalítico del aire real procedente de fangos primarios en una EDAR. Cromatogramas obtenidos con muestras de aire tomadas: a la entrada del reactor (línea azul); a la salida del reactor (línea rosa) y muestra de referencia (línea negra).

Respecto a los análisis del aire procedente de edificios, los resultados obtenidos han permitido identificar benceno y derivados, tolueno, xileno, siloxanos, e hidrocarburos alifáticos (tetradecano, pentadecano o hexadecano), alcoholes y terpenos como el pineno, alfa limoneno, ente otros. La concentración de la mayor parte de ellos es superior en el aire interior que en el exterior, lo que evidencia un proceso de concentración progresiva de los contaminantes en el interior de edificios. Los resultados apuntan a que, la concentración de estos compuestos es, en términos generales, superior en el edificio bioclimático que en de construcción tradicional, posiblemente debido a la falta de ventilación o recirculación defectuosa del aire en el primero.

Publicaciones:[4.42]-[4.44]

4.3.4 TRAGUA

Tratamiento y Reutilización de aguas residuales para una gestión sostenible

Participantes: CIEMAT, UAH, UCM, UAM, CIESOL y hasta 25 grupos de investigación diferentes.
Contacto: B. Sánchez; benigno.sanchez@ciemat.es
Financiación: Proyecto CONSOLIDER-INGENIO del MEC, parcial: 700 k€
Duración: enero 2007 - diciembre 2010

Motivación / Antecedentes: La reutilización de aguas residuales generadas en las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDARs) es un objetivo clave para un país como España que debe afrontar un déficit hídrico continuado, que es especialmente dramático en las regiones de mayor influencia mediterránea. Sin embargo, la utilización generalizada de este recurso requiere establecer unas garantías sanitarias para que la reutilización del agua sea una opción segura y aceptable. Estas consideraciones quedan reflejadas en el nuevo Real Decreto 1620/2007 sobre reutilización de aguas depuradas. En

este sentido uno de los objetivos fundamentales del proyecto TRAGUA es evaluar la calidad microbiológica de las aguas depuradas, determinar la presencia de microcontaminantes emergentes, y establecer métodos efectivos, y viables económicamente para incrementar la calidad de este recurso y ampliar sus posibilidades de uso.

Objetivos: La labor del grupo de Aplicaciones Ambientales de la Radiación Solar en aire del CIEMAT, como parte integrante del área de tratamientos intensivos de aguas residuales, es evaluar la utilización de la fotocatálisis solar basada en la utilización de TiO_2 inmovilizado para la desinfección y la eliminación de los microcontaminantes emergentes empleando plantas piloto (39 litros de volumen) basadas en colectores CPC. Esta labor se realiza en estrecha coordinación con la desempeñada por el grupo del CIESOL, que desarrollará la metodología analítica adecuada para determinar la presencia de trazas de contaminantes no biodegradables y que, por tanto, no son eliminados por los tratamientos biológicos de las EDARs.

Logros alcanzados en 2010: El Programa Consolider Tragua ha obtenido en el año 2010 uno de los premios que otorga la IWA en el marco del los "Prizes for Excellence in Sustainable Urban Water Management". En concreto, Tragua ha ganado el Premio a la innovación en la realización práctica de gestión sostenible de aguas urbanas (IWA prize for innovation in the practical realisation of sustainable urban water management). Con este galardón se premia la novedad del proyecto y la propuesta realizada para la gestión de aguas urbanas desde un marco de sostenibilidad.

Los resultados de actividad fotocatalítica obtenidos por el grupo T9 durante el año anterior, mostraron la eficiencia del sistema de TiO_2 inmovilizado desarrollado en este proyecto, para la degradación de 15 contaminantes modelo seleccionados en matriz de agua destilada, agua de dureza simulada y agua simulada de efluente. En el año 2010 se ha profundizado en dos aspectos importantes para optimizar el sistema fotocatalítico. Por un lado, la caracterización del catalizador desarrollado para establecer una relación entre sus propiedades físico-químicas y su actividad fotocatalítica. Por otro lado, y dado que el objetivo es la reutilización del agua tratada para regadío de invernaderos, campos de golf, jardines públicos, etc., se ha estudiado el comportamiento del sistema utilizando con agua real. Para ello se ha seleccionado el agua procedente del tratamiento biológico secundario de la estación depuradora de aguas residuales situada en El Ejido (Almería) con un contenido de ($COD \cong 13$ mg L^{-1}). La variación de la concentración de los 15 compuestos seleccionados con el tiempo durante el primer y quinto ciclo, empleando un captadores CPC se encuentra representada en la Figura 4.22.

Los resultados indican que un 53% de los compuestos se degradaron a los 60 min de iniciar el proceso. Este porcentaje se eleva hasta un 73% para un tiempo de reacción cercano a los 150 min. Sólo la antipirina, la atrazina, la flumequina y la carbamazepina no se degradaron completamente. Como cabía esperar la degradación de los compuestos tras cinco ciclos consecutivos de uso del catalizador, es sensiblemente más lenta, pero efectiva para el 60 % de los compuestos seleccionados. Los resultados de caracterización del material indicaron que este hecho está relacionada con el bloqueo de los centros activos del TiO_2 por especies adsorbidas tales como nitratos, fostafos o compuestos de azufre o cloro, y no con la pérdida de fase activa.

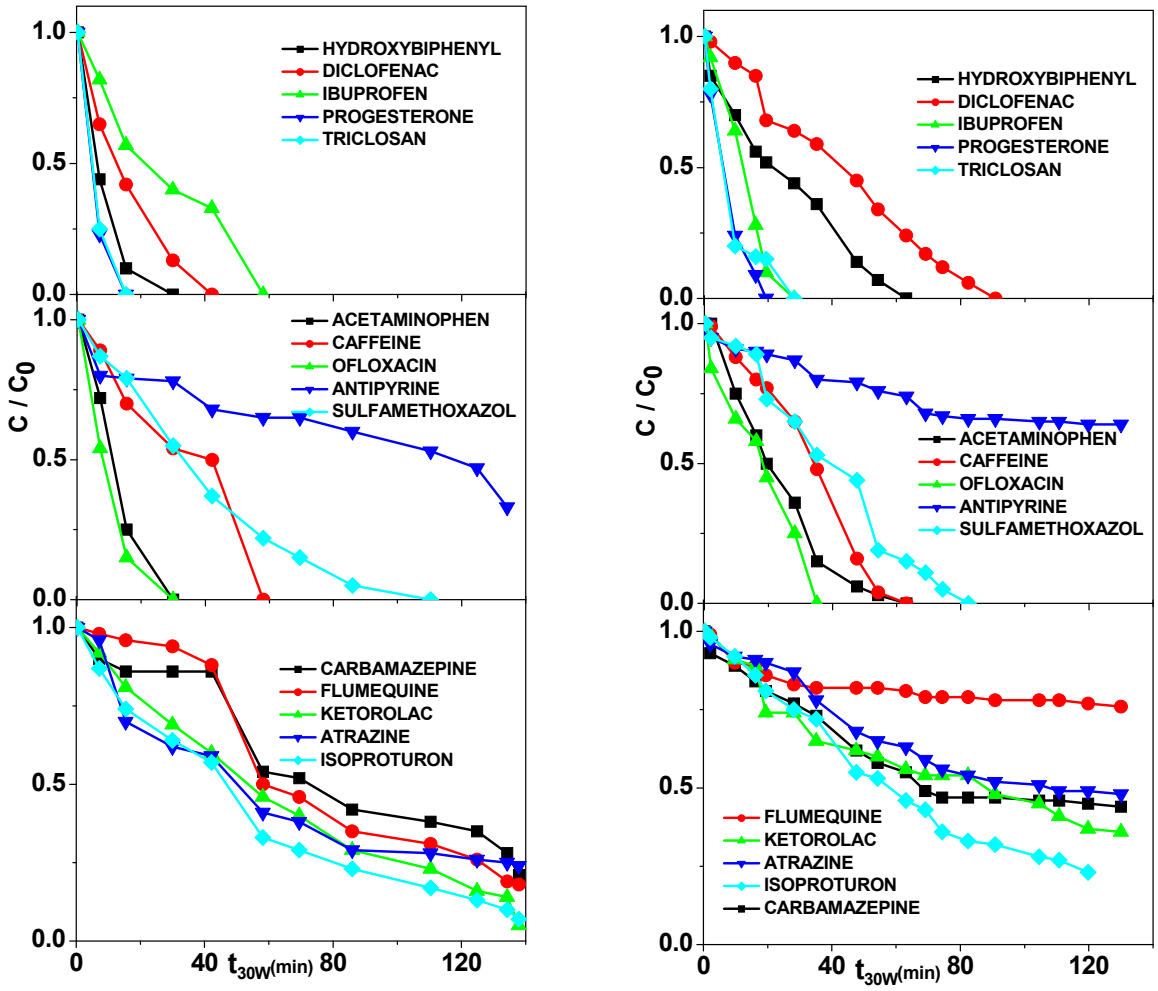


Figura 4.22 Degradación de los 15 compuestos seleccionados con agua real después del 1er ciclo (izquierda) y después del 5º ciclo (derecha)

Estos experimentos muestran que contaminantes emergentes en concentraciones de µg L^{-1} en agua, pueden ser degradados mediante un sistema fotocatalitco con TiO_2 inmovilizado utilizando irradiación solar como fuente de excitación, no sólo en efluentes simulados de EDAR, sino con efluentes reales. Estos resultados abren el campo de la aplicación de la fotocatálisis a la reutilización de aguas tratadas. Debe ser mencionado que el principal objetivo es eliminar compuestos emergentes, y que la presumible menor eficiencia del catalizador inmovilizado frente a sistemas de TiO_2 en suspensión, no es un problema como ha quedado demostrado. De hecho, es ventajoso desde el punto de vista de la operación de una planta, ya que eliminarían los procesos asociados a la eliminación del TiO_2 del agua tratada, como la filtración, que además de ser complicado encarece notablemente el precio del proceso global.

Publicaciones: [4.45]-[4.47]

4.3.5 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-

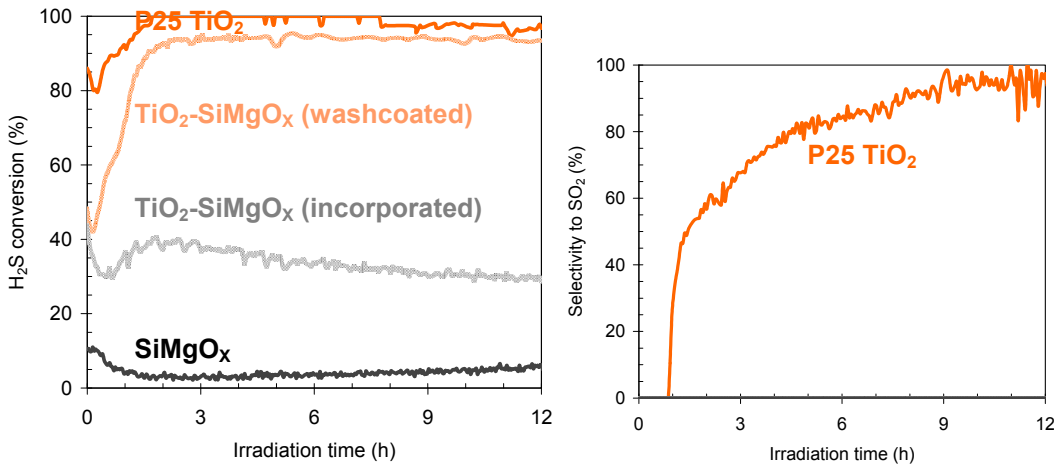


Figura 4.23 Conversión (izquierda) y selectividad (derecha) durante la oxidación fotocatalítica de H_2S con $SiMgO_X$ y P25-TiO_2 puros o con híbridos TiO_2-$SiMgO_X$ incorporados y recubiertos, todos tratados a 500ºC.

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 2010: En el año 2010 se ha estudiado la influencia de la configuración del material hibrido en la selectividad del proceso fotocatalítico con dos compuestos modelo, uno orgánico, tricloroetileno (TCE), y otro inorgánico, H_2S, y se ha trabajado con distintas configuraciones de reactor que permiten el empleo de materiales opacos a la radiación UV. Los nuevos ensayos realizados con TCE en un reactor tubular solar con un colector cilindro parabólico (CPC) continúan la línea de años anteriores y demuestran el beneficio de usar materiales adsorbentes para amortiguar el efecto de la intermitencia solar, además de mejorar la capacidad de mineralización. Para los ensayos con H_2S ha sido fundamental la experiencia adquirida con el programa DETOX-H2S (S-0505/AMB/0406 de la Comunidad de Madrid), finalizado en diciembre 2009, en el marco del cual se realizó el diseño, instalación y primeros ensayos con H_2S con un fotorreactor híbrido anular que puede operar 24h al día. El reactor consta de un CPC sin concentración y de una lámpara UVA interna que se activa cuando es preciso, de modo que puede operar con radiación solar y/o artificial. Además, se ha solicitado la extensión internacional de la patente (PCT) que permite adecuar el reactor a fotocatalizadores opacos de formas simples, como las placas de materiales híbridos adsorbente/fotocatalizador. Una vez comprobado que el empleo de estos materiales puede solucionar parte de los problemas encontrados en la eliminación fotocatalítica de H_2S, con este sistema se ha evaluado el tratamiento continuo a escala semi-piloto del aire real de una EDAR, que contiene H_2S y otros compuestos corrosivos y causantes de mal olor. El buen resultado obtenido, con una capacidad de tratamiento y una durabilidad mejorada respecto a fotocatalizadores depositados sobre sustratos no porosos, así como un retardo importante en la aparición de SO_2 como subproducto, es muy prometedor y ha despertado el interés de algunas empresas y abierto varias posibilidades de nuevos proyectos.

Publicaciones: [4.48]-[4.51]

4.3.6 FOTOBIOVOC

Nuevo sistema de tratamiento fotocatalítico de la contaminación química y bacteriana del aire interior

Participantes: CIEMAT, Aire limpio S.L., CBMSO, UV.
Contacto: Dr. Benigno Sánchez; benigno.sanchez@ciemat.es
Financiación: Ministerio de Ciencia e Innovación. Presupuesto total 164 k€.
Duración: Enero 2010 – Enero 2012

Motivación / Antecedentes: Tradicionalmente la contaminación del aire se relacionaba únicamente con la presencia de compuestos químicos en el ambiente exterior. Sin embargo, en los ambientes interiores, donde una gran parte de la población desarrollan su actividad el 90 % del tiempo, se encuentran multitud de focos de contaminación entre los que destacan los compuestos orgánicos volátiles (COVs) y los bioaerosoles. Estos contaminantes del aire interior pueden causar enfermedades como alergias, asma que han dado lugar a lo que se conoce como "Síndrome del Edificio Enfermo". En las últimas décadas, las autoridades han tomando conciencia de la gravedad del problema, que supone una mala calidad del aire interior y se ha generado una clara atención normativa y una demanda de sistemas eficientes para el tratamiento de aire interior.

En la mayoría de los estudios relacionados con esta temática se ha venido trabajando con uno o varios compuestos o cepas determinadas, definidos como "contaminantes modelo". En este proyecto se plantea el reto de desarrollar un prototipo basado en fotocatálisis que resulte eficiente en la reducción de gran parte de contaminantes –químicos y biológicos- existentes en ambientes interiores. Por ello, se pretende tratar el conjunto de contaminantes existente e identificar antes y después del tratamiento las especies químicas y bacterianas resistentes. Para ello se precisan sofisticadas herramientas analíticas, como la deserción térmica automática (ATD_GC_MS) para el análisis de VOCs a nivel de ppb y técnicas de Biología Molecular como la PCR para el análisis de bacterias y hongos.

La fotocatálisis mediada por TiO_2 puede considerarse como alternativa o complemento a los sistemas convencionales de tratamiento de aire interior mediante filtrado, ya que al contrario que aquellos, implica la formación de radicales hidroxilo, cuyo potencial de oxidación es mayor que el de otros oxidantes tradicionales. La selección de un soporte para inmovilizar el fotocatalizador no es una tarea sencilla, ya que además de mantener una buena actividad fotocatalítica, se requiere disponer de materiales que presenten una elevada durabilidad, resistencia mecánica, buena adherencia de la capa de TiO_2 en el caso de sistemas recubiertos y que no se encarezca el precio final del catalizador.

Objetivos: El presente proyecto pretende demostrar –transfiriendo conocimiento a la empresa- las posibilidades reales que la fotocatálisis heterogénea basada en TiO_2 inmovilizado tiene para el tratamiento de COVs y bacterias existentes en condiciones reales de operación. Para ello se fijan los siguientes objetivos:

1) Diseñar, construir e instalar un primer prototipo de reactor fotocatalítico para trabajo en condiciones reales.
2) Desarrollar, preparar y caracterizar soportes y fotocatalizadores para llevar a cabo la oxidación fotocatalítica de COVs y bacterias.
3) Estudiar la eficiencia de destrucción de VOCs y bacterias de los fotocatalizadores preparados.
4) Analizar sistemáticamente la composición del aire (VOCs y bacterias) en diferentes dependencias.

5) Ensayar y evaluar la eficiencia de destrucción de VOCs y bacterias del sistema fotocatalítico diseñado, construido e instalado por Aire Limpio y UV en CIEMAT.

Logros alcanzados en 2010: En el año 2010, primera anualidad del proyecto, se ha diseñado el primer prototipo para el tratamiento de aire, ha sido fabricado con materiales generalmente utilizados en sistemas de aire acondicionado con objeto de hacer competitivo el sistema desde sus comienzos. El prototipo ha sido instalado y puesto en marcha en dependencias del CIEMAT. Como primera fase, se han realizado experimentos sin fotocatalizador con objetivo de estudiar la influencia de la temperatura, intensidad fotónica y selectividad espectral sobre los niveles de concentración bacteriana encontrados. Durante los ensayos se ha mantenido una monitorización continuada via Internet de parámetros y variables de operación que influyen en el sistema (por ejemplo, temperatura, humedad relativa, etc.).

Se ha llevado a cabo la preparación de catalizadores para su incorporación al sistema. Para mejorar la adherencia del fotocatalizador se ha aplicado un pretratamiento básico a las estructuras monolíticas de aluminio proporcionadas por la empresa Aire Limpio. Se han depositado láminas TiO_2 a partir de un sol mediante dip-coating. Se ha trabajado en la optimización de variables relativas tanto al proceso de pretratamiento como al de deposición, como son: tiempo, temperatura, concentración de aditivos, etc. Se ha llevado a cabo la caracterización del catalizador por técnicas como DRX, Isotermas de Nitrógeno o imágenes SEM (en la Figura 4.24 pueden observarse micrografías del soporte y el fotocatalizador).

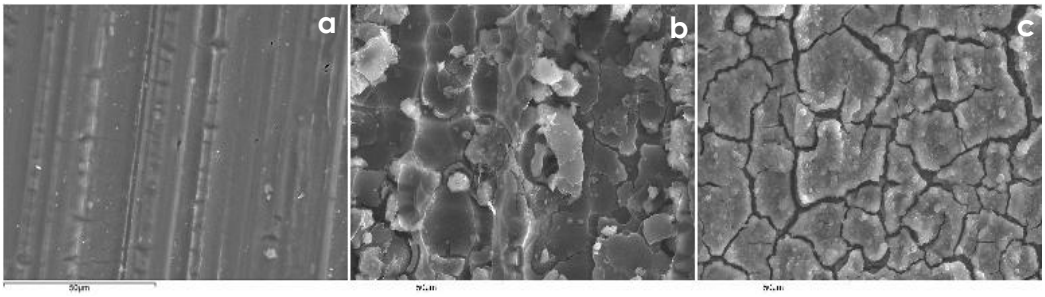


Figura 4.24 Imágenes SEM. a) Aluminio lavado b) Aluminio pretratado c) Aluminio pretratado con un recubrimiento de TiO_2

Se ha evaluado la actividad fotocatalítica del sistema, teniendo en cuenta el efecto que tienen sobre la fotoactividad los diferentes parámetros relacionados con el pretratramiento del soporte, como el tiempo, o la temperatura, así como la cantidad de TiO_2 depositado y el efecto del tratamiento térmico. El objetivo del estudio ha sido optimizar las condiciones de preparación que dan lugar a una mejor actividad fotocatalítica. Se ha seleccionado el tricloroetileno (TCE) como compuesto orgánico volátil (COV) modelo. Los resultados obtenidos indican la estabilidad de los materiales preparados y su elevada actividad en la mineralización del tricloroetileno. Paralelamente, se han llevado a cabo muestreos estacionales de bacterias y COVs en diferentes puntos representativos de dos edificios del CIEMAT, un edificio bioclimático de reciente construcción y un edificio con más de 35 años. Los resultados han puesto de manifiesto la altísima variabilidad en el número de UFC y de especies bacterianas identificadas en ambos edificios, pero dicha variabilidad es especialmente elevada en el edificio antiguo.

Publicaciones: [4.51]-[4.52]

4.4 Grupo de desalación solar

El interés por las actividades de desalación solar de agua de mar y salobre se está incrementando de manera notable en todo el mundo en estos últimos años. Este hecho está motivado, por un lado, por el continuo incremento de la demanda de agua desalada y, por otro, por las implicaciones energéticas que ello supone. Los datos disponibles de la International Desalination Association indican una producción a finales de 2010 de 65.2 millones de m^3/dia y una capacidad contratada de 71.7 millones de m^3/dia. Si bien estos datos son de por si notables, aun mas relavante si cabe es el hecho de que la producción mundial de agua desalada se ha literalmente duplicado durante la última década y todas las previsiones indican que dicha producción va a seguir creciendo al mismo ritmo en los proximos años. También según datos de 2010 procedentes de la misma fuente, aproximadamente el 62% de la producción de agua desalada se obtiene mediante tecnologías de membrana y el 38% restante mediante tecnologías térmicas. Dado que habitualmente existe una coincidencia entre la necesidad de incrementar los recursos disponibles de agua y la existencia de elevados niveles de irradiación solar, en el mismo entorno geográfico, a la hora de plantear iniciativas sostenibles con respecto al desarrollo de las aplicaciones de desalación, la opción solar necesariamente siempre se va a encontrar entre las más interesantes.

Por todas estas razones la actividad de la PSA en este campo es particularmente intensa, intentando desarrollar, a través de los diferentes proyectos en los que está participando, el mayor espectro posible de tecnologías que permitan alimentar mediante energía solar todos aquellos procesos de desalación existentes en los que se considere que la energía solar puede tener sentido como fuente primaria. Un objetivo paralelo que se persigue con esta iniciativa es la de poder acabar dotando a la PSA de un conjunto integrado de instalaciones de investigación de desalación solar que abarquen la mayoría tanto de procesos como de tecnologías existentes y que conviertan a la PSA también en un referente internacional en investigación en este campo.

Se describen a continuación los principales proyectos y actividades desarrollados durante 2010 en esta área.

4.4.1 MEDESOL

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

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

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

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

Logros alcanzados en 2010: Durante el 2010, se evaluó un tercer prototipo de módulo (un segunod prototipo de la firma singaporeana Keppel-Seghers). El sistema ensayado consistia en tres de estos nuevos modulos dispuestos en serie con el proposito de maximizar la recuperación de calor. La flexibiliad de la instalacion de DM permitió que mediante minimas modificaciones se pudieran ensayar los nuevos prototipos.

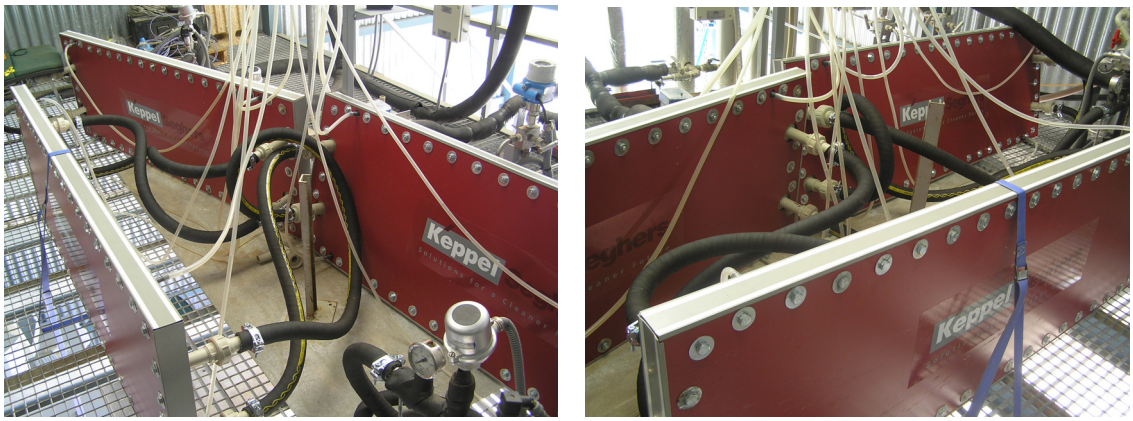
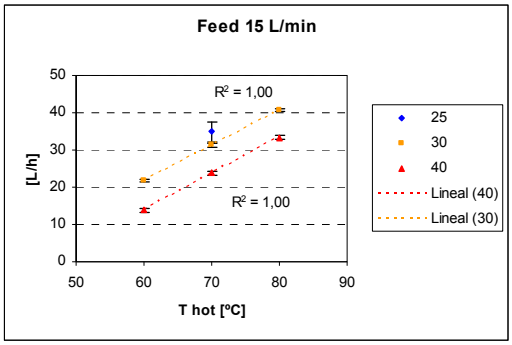


Figura 4.25 Segundo prototipo de destilacion por membranas (Keppel-Seghers, Singapur) ensayado den las instalaciones de la PSA.

Algunos de los resultados obtenidos durante la campaña de experimentación fueron los siguientes:



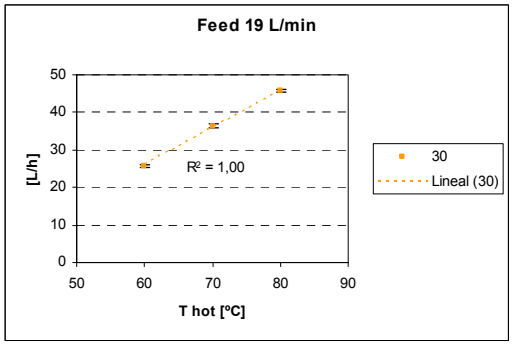
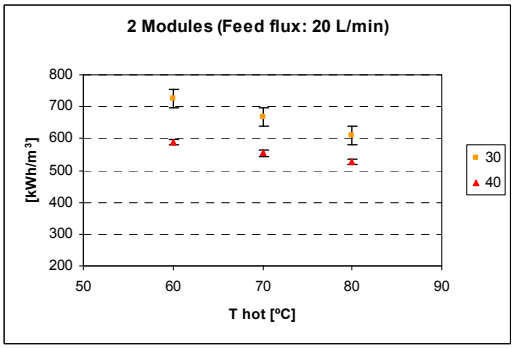


Figura 4.26 Produccion de permeado en funcion de la temperature de alimentacion para distintos caudales de alimentación. Tres modulos operando en serie.



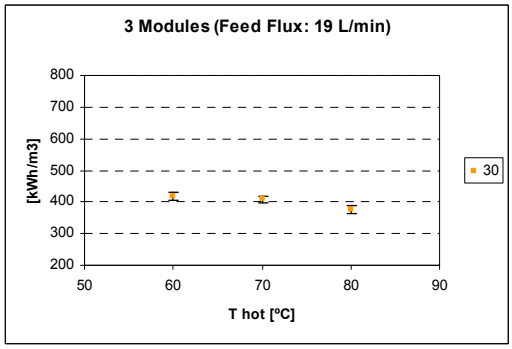


Figura 4.27 Consumo energético termico específico [$kWh_t\ m^{-3}$]. Resultados operando con 2 y 3 modulos de DM en serie.

El proyecto MEDESOL terminó formalmente este año y a lo largo del mismo se perfilaron los informes finales del proyecto. Uno de los resultados finales fue un detallado estudio economico del acople de la DM con energia solar, en este caso con captadores solares estáticos (http://www.psa.es/webeng/projects/medesol/results.php) Algunas de las principales conclusiones a las que llegó el consorcio con respecto al estado actual de la tecnologia de destilación por membranas aplicada a desalación, son:

- Los resultados de las tecnologias pre-commerciales evaluados distan mucho d elso valores que encontramos en la literatura. El consumo termico real alcanzado esta en torno a los 1000 kWh/m^3.
- No se considera viable el acople de esta tecnologia con energia termica solar mientras el consumo especifico no esté por debajo de los 200 kWh/m^3.
- El consumo energetico especifico afecta linealmente al coste final del agua producida por ello es de suma importancia el conseguir la recuperacion interna de calor bien internamente en el modulo o bien externamente mediante el concepto multi-etapa.
- No se considera viable el acople de esta tecnologia con energia termica solar mientras el coste de los modulos no se encuentre por debajo de los 1000 euros por unidad. Por debajo de este nivel de 1.000 euros / unidad, el costo de los módulos de DM tiene una influencia menor en el coste final del agua.
- La producción específica de esta tecnologia es aún muy baja y se encuentra muy lejos tanto de las producciones acanzadas por otras tecnologias maduras de desalacion como la OI (alrededor de 14 l/m^2h) como de los resultados que aparecen en la literatura a escala de laboratorio (80 L/m^2 h a 60ºC).

- La combinación de estos tres factores: reducción de costos de producción, reduccion del consumo de energía térmica y producción específica de agua (por m^2 de membrana) es por tanto, fundamental para hacer posible que la desalacion solar por DM sea viable comercialmente.

Publicaciones: [4.53]

4.4.2 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:

1) El montaje y evaluación de un capatador cilindro-parabólico de media temperatura que permita diferentes aplicaciones de calor de proceso
2) El montaje y evaluación de un ciclo Rankine Orgánico (ORC) susceptible de ser utilizado en combinación con el captador anterior y dentro de esquelas de procesos de poligeneración (electricidad, frio, agua, calor)
3) 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 2010: Se ha definido, diseñado, adquirido y construido un campo de 8 captadores cilindro-parabólicos para suministrar unos 125kW termicos de cara a su aplicación en procesos de poligeneracion y desalación multiefecto en la PSA.

El captador cilindro-parabolico de pequeño tamaño y bajo coste identificado como idóneo para las aplicaciones termicas de media temperatura es el el

prototipo Polytrough 1200 de la empresa australiana NEP-Solar. Tiene con una eficiencia norminal del 55 % en el rango 120-220ºC para 1000W/m^2 de radiación normal direca y una produccion nominal de 15,8 kW por modelo con la temperatura media del captador de 200ºC.

Los ensayos de evolución del campo solar han comenzado y los resultados obtenidos reflejan que el campo permite alcanzar y mantener las temperaturas esperadas, requeridas para cumplir con los esquemas estudiados. Por tanto, el campo tiene el potencial de poder ser utilizado en sistemas en los que se pretenda el aprovechamiento de calor a media temperatura, como sistemas de poligeneración, bombeo de agua para riego o sistemas de desalación.

Publicaciones: [4.54]

4.4.3 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 (D); Centre for Renewable Energy Sources (CRES) (GR); Univ. Palermo (I); INETI (P); Ao Sol (P); Fraunhofer Gesellschaft ISE (D); Befesa (E); AquaMarine Power (UK); Hellas Energy (GR); European Desalination Society (EDS) (I); CIEMAT-PSA (E); Tinox (D); Instituto Tecnológico de Canarias (ITC) (E); Capital Connect (GR).
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 2010: En el último año del proyecto se ha elaborado una Hoja de Ruta de la utilización de energías renovables en procesos de desalación, a través de un proceso de consulta entre agentes de la industria y la investigación, con una retroalimentación en la que han participado más de 100 especialistas de todo el mundo. El documento se ha distribuido y está disponible para su descarga en la web o la adquisición de una copia física. Además, se ha establecido un grupo de trabajo en el que participa la PSA y

que tendrá reuniones anuales para definir, impulsar y supervisar la implementación, el desarrollo y la difusión de la desalación con energías renovables.

Por otra parte, se ha preparado una base de datos de material didáctico y divulgativo de la desalación con energías renovables, además de participar durante 2010 impartiendo cursos en Gran Canaria y en Faro (Portugal).

De cara a la relación con el mercado, se ha participado en la elaboración de una base de datos de Pymes y profesionales en los sectores del agua y las energías renovables, así como en la preparación de una publicación de productos disponibles en desalación con energías renovables, que se ha distribuido en cuatro eventos específicos. En España tuvo lugar en Gran Canaria.

Por último, un análisis de las condiciones de contorno de la desalación con energías renovables en España cristalizó en un informe que recoge el marco legal e institucional de los sectores de la energía y el agua, así como los requerimientos y procedimientos necesarios para llevar a cabo una instalación de energías renovables en España. El documento incluía una evaluación de los puntos débiles y una serie de sugerencias a las políticas de energía y agua para potenciar la desalación con energías renovables que se discutieron y presentaron en una reunión con responsables del IDAE en Madrid.

Publicaciones: [4.55]

4.4.4 CONSOLIDA
Consorcio solar de I+D
http://www.cenit-consolida.es/

Participantes: 20 empresas españolas lideradas por Abengoa Solar con 18 OPIs subcontratadas.
Contacto: Dr. Julián 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 2008 – 31 Diciembre de 2011

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 CO_2 en un 20% para el año 2020.

Logros alcanzados en 2010: Destilación multi-efecto: Durante las fases anteriores del Proyecto CONSOLIDA, entre las diferentes configuraciones de acoplamiento de una planta solar térmica a una planta de destilación multiefecto (MED) se identificaron dos configuraciones de interés: Una planta MED de baja temperatura (LT-MED) acoplada a un campo de captadores solares estáticos de tubo evacuado (ETC) y una planta MED con termocompresión (TVC-MED) alimentada por un campo de captadores cilindro parabólicos (CCP). Un tercer concepto de planta, basada en una hibridación de los dos anteriores, con planta solar LT-MED funcionando en modo de termocompresión durante las horas de operación con combustible fósil.

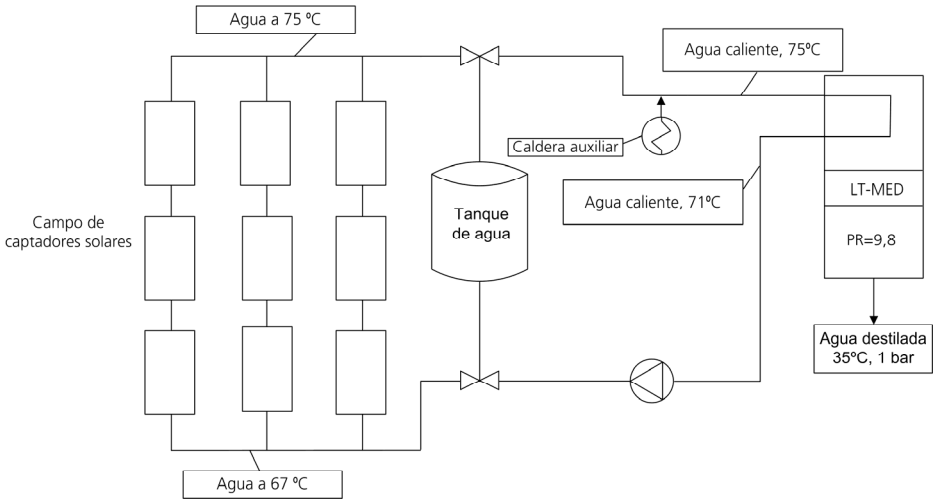


Figura 4.28 Diagrama del sistema formado por una planta LT-MED acoplada a un campo de ETCs

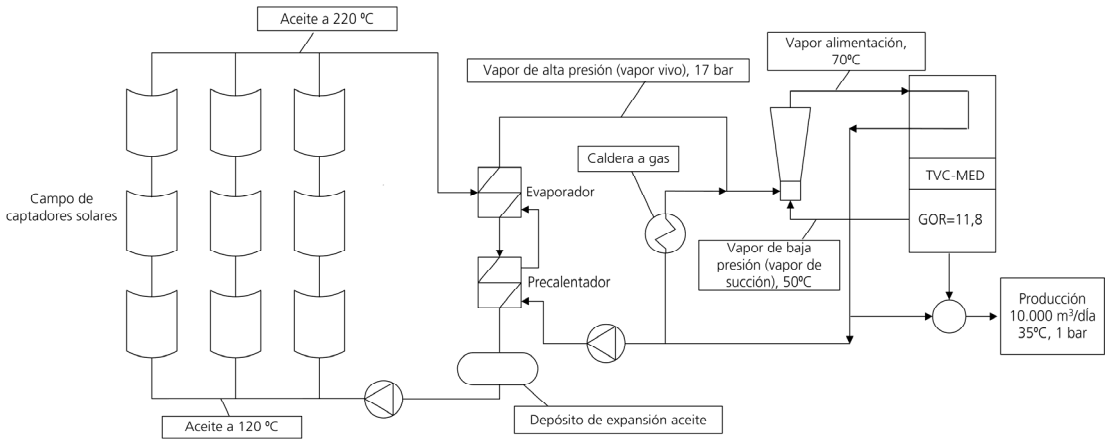


Figura 4.29 Diagrama del sistema formado por una planta TVC-MED acoplada a un campo solar de CCPs

Durante el año 2010 se han implementado los modelos computaciones de las citadas configuraciones a partir de los principios físico-químicos desarrollados en fases anteriores del proyecto. Ello ha permitido llevar a cabo el diseño del campo solar y el sistema de desalación en función de diferentes capacidades de producción de agua desalada requeridas. Los modelos computacionales han incorporado almacenamiento energético con el fin de incrementar la fracción solar de la planta así como hibridación con combustibles fósiles para garantizar una operación continua durante las 24 horas del día.

También durante 2010 se ha realizado un análisis económico de todos los sistemas propuestos, determinando el coste específico del agua desalada para diferentes precios de electricidad. Ello ha permitido determinar las configuraciones más idóneas para su diseño de detalle durante la segunda fase del proyecto.

Publicaciones: [4.56]

4.4.5 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 sino 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 2010: Durante el año 2010 se ha desarrollado el diseño de un prototipo inicial, compuesto por dos efectos, uno de ellos dotado de precalentador y el otro acoplado a un condensador, simulando así el condensador final de una planta MED convencional. Se han propuesto y evaluado dos diseños para dos fuentes de energía diferentes en el primer efecto, agua caliente y vapor, aunque finalmente se ha elegido la opción de alimentación mediante vapor, ya que posibilita simular cualquiera de las celdas de una unidad múltiple posterior.

Además, durante 2010 se ha llevado a cabo también la elección de materiales y la generación de los planos de detalle, con objeto de proceder a la construcción del prototipo y llevar a cabo su evaluación experimental.

Publicaciones: [4.57]

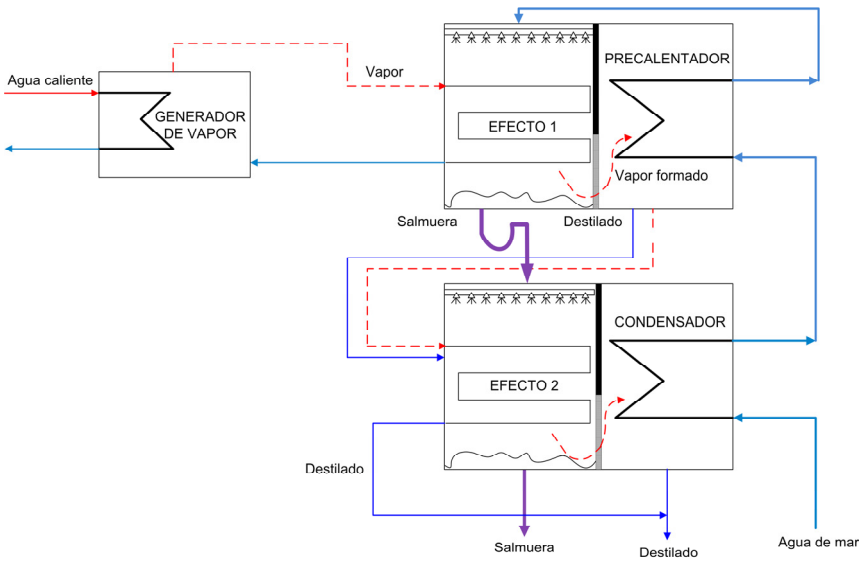


Figura 4.30 Resultados del diseño de un destilador simple que utliza vapor como fuente de energía térmica

4.4.6 TECOAGUA
Desarrollo de Tecnologías Sostenibles para el Ciclo Integral del Agua

Participantes: BEFESA (CIEMAT-PSA como organismo subcontratado), Canal de Isabel II, Emasesa, Agua y Gestión, Inclam, Fagor Electrónica, Deimos Imaging, Terranova, Micronet Porous Fibers, ITC, Inabensa
Contacto: Dr. Julián Blanco, julian.blanco@psa.es
Financiación: 18 M€, es un proyecto CENIT del Programa CENIT-E del Ministerio de Ciencia e Innovación
Duración: 17 Sep 2009 – 31 Dic 2012

Motivación: Los últimos informes mundiales acerca de la disponibilidad de agua dulce muestran un grave problema de estrés hídrico que afecta cada vez a más lugares de nuestro planeta. Los efectos del cambio climático se han traducido en un aumento de la temperatura así como en un cambio en el régimen de lluvias, lo cual afecta claramente a dicha disponibilidad. Durante el siglo XX la población mundial se ha multiplicado por cuatro, el consumo de energía por dieciséis y el consumo de agua por nuevo. Todo ello se ha traducido en una serie de consecuencias medioambientales, cuyos efectos más evidentes han sido la escasez de agua, el aumento de vertidos y residuos y el agravamiento del proceso de cambio climático. Por todo ello se hace necesario el establecimiento de un ciclo integral del agua que sea sostenible.

Objetivos: El objetivo principal de proyecto es la generación de conocimiento y el desarrollo de tecnologías y nuevos procesos para el ciclo integral del agua, que contribuyan a garantizar la disponibilidad y calidad del suministro de agua y la sostenibilidad hídrica, entendiendo por esta la gestión eficiente de los recursos escasos, la generación de recursos alternativos y la reducción de las emisiones de CO_2 asociadas al ciclo del agua.

En el caso concreto de la PSA, su actividad se enmarca dentro de la línea estratégica de Sostenibilidad del Ciclo Integral del Agua, desarrollando su labor en la Actividad 11 (Aplicación de energías renovables al ciclo del agua). El objeto de la labor científica a desarrollar por la PSA es el estudio de la aplicación de la energía solar térmica al acoplamiento de sistema de destilación multiefecto con bombas de calor de absorción de doble efecto.

Objetivos alcanzados en 2010: Durante este año se ha llevado a cabo la tarea de preselección de los parámetros de diseño y operación del sistema acoplado de planta de destilación multiefecto y bomba de calor de absorción de doble efecto existentes en las instalaciones de la Plataforma Solar de Almería.

El establecimiento de dichos parámetros ha permitido determinar las especificaciones funcionales del sistema solar requerido para alimentar el generador de alta temperatura de la bomba de calor.

Dados los requerimientos energéticos de la bomba de calor (vapor saturado a una temperatura de 180ºC), se ha escogido una tecnología solar de concentración para suministrar la potencia requirida (100 kW). Para ello, se ha identificado en el mercado un captador cilindro parabólico para aplicaciones de calor industrial (hasta 225ºC).

Durante 2010 se ha llevado a cabo la construcción de un campo solar constituido por ocho captadores PolyTrough 1200 (cuatro filas con dos captadores en serie), con una superficie de apertura total de 230 metros cuadrados. La eficiencia de dicho captador se sitúa en torno al 55% para un valor de radiación directa normal de 1000 W/m^2 y una temperatura de salida de 220ºC. El fluido de trabajo será aceite térmico (Monsanto Santotherm 55) que alimenta-

Figura 4.31 Bomba de calor de absorción (LiBr-H_2O) de doble efecto en la PSA

rá un generador de vapor instalado en el interior de la planta desaladora para alimentar la bomba de calor.

Publicaciones: [4.58]-[4.60]

4.4.7 PROYECTO ZCR
Zero Carbon Resorts
http://www.zerocarbonresorts.eu

Participantes: Gruppe Angepaste Technologie GrAT (A) (Coord.), Philippine Green Building Council PhilGBC (PH), Palawan Council for Sustainable Development PCSD (PH), CIEMAT-PSA (E), Asia Society for Social Improvement and Sustainable Transformation ASSIST (PH).

Contacto: Dr. Guillermo Zaragoza, guillermo.zaragoza@psa.es
Dr. Robert Wimmer, rw@grat.at

Financiación: Switch-Asia, EU; 2.1 M€ (80%). Presupuesto CIEMAT-PSA: 300 k€.

Duración: Nov 2009 – Nov 2013

Motivación: En el caso de asentamientos aislados, como es el caso de las islas, el abasticimiento energético depende en la actualidad fuertemente de energías fosiles (fundamentalmente se utilizan generadores de gas-oil). Las Filipinas, con más de 7000 islas, son un ejemplo típico de ello, y el turismo, con sus elevados consumos de agua y energía, uno de los sectores que mayor impacto medioambiental causa en el país.

Objetivos: El objetivo de la acción es mejorar sustancialmente la eficiencia energética y la sostenibilidad del sector turístico, especialmente en la región de Palawan, reduciendo su huella carbónica mediante: (i) arquitectura bioclimática; (ii) empleo de energías renovables para generación de energía y agua; (iii) prácticas sostenibles en el consumo de energía y agua. La acción propuesta pretende estimular la economía local, permitiendo a las Pymes locales de la industria del turismo desarrollar la capacidad para lograr tales objetivos. Para ello se plantea una formación consistente en una serie de cursos

Figura 4.32 Conferencia ZCR en Puerto Princesa (Palawan, Filipinas) Noviembre 2010.

Figura 4.33 Participantes en el 1er taller del proyecto ZCR en Filipinas, Marzo 2010.

y workshops, además de llevar a cabo un ejemplo de demostración consistente en la adaptación de un complejo turístico mediante la implementación de prácticas sostenibles, recurriendo a materiales, recursos y tecnologías verdes disponibles localmente.

Objetivos alcanzados en 2010: A lo largo del primer año se ha llevado a cabo la primera labor de difusión del proyecto entre las Pymes turísticas de Palawan con objeto de seleccionar establecimientos voluntarios que formen el grupo de estudio. Para ello se llevaron a cabo talleres en tres lugares de la isla de Palawan (Puerto Princesa, El Nido y Corón) en los que se discutieron de manera interactiva los principales problemas medioambientales de las instalaciones turísticas de Filipinas, además de recabar propuestas y voluntarios para participar en el proyecto. Sobre los establecimientos del grupo de estudio, se realizó posteriormente un programa de auditorías energéticas y se llevó a cabo un primer curso, celebrado en Puerto Princesa, centrado en los conceptos básicos e incidiendo en la reducción de los consumos energéticos y de agua. En paralelo, se han ido evaluando posibilidades de aplicación de energías renovables, como es el caso de una serie de captadores cilindro-parabólicos de pequeño tamaño para generar calor de proceso utilizable en ciclos Rankine orgánico para generar electricidad, en procesos de refrigeración mediante absorción solar para climatización o en sistemas de destilación por membranas para desalar aguas salobres y de mar.

Finalmente, tuvo lugar una primera conferencia del proyecto en Puerto Princesa (Palawan, Filipinas) en la que se expusieron los primeros avances y resultados del proyecto en cuanto a la reducción de consumos, plasmados en un manual que una vez editado se pondrá a disposición de los agentes turísticos.

4.5 Publicaciones

[4.1] Tesis Doctoral. Evaluación analítica de procesos de transformación biológica, fotoquímica y fotocatalítica de fármacos en agua. Carla Sirtori. Departamento de Hidrogeología y Química Analítica. Universidad de Almería. 12 de Julio de 2010.

[4.2] D. Fatta-Kassinos, E. Hapeshi, S. Malato, D. Mantzavinos, L. Rizzo, N. Xekoukoulotakis. Removal of xenobiotic compounds from water and wastewater by advanced oxidation processes. En: Xenobiotics in the Urban Water Cycle. D. Fatta-Kassinos, K. Bester and K. Kümmerer (Eds.). Springer, Germany. pp. 387-412. 2010.

[4.3] S. Malato. Advanced Technologies based on solar energy for wastewater treatment. Protection and restoration of the environment (Pre 10). Corfu, Greece. July 5th -10th, 2010. Plenary Lecture. Book of abstracts, 48-49.

[4.4] Sixto Malato, Isabel Oller, Pilar Fernández, Manuel I. Maldonado. Descontaminación de aguas residuales industriales mediante fotocatálisis solar. FarmaEspaña Industrial, 10, 26-28, 2010.

[4.5] Carla Sartori, Ana Mª Agüera López, Sixto Malato Rodríguez. Evaluación analítica de procesos de transformación biológica, fotoquímica y fotocatalítica de fármacos en agua. Editorial CIEMAT, Madrid, Spain. ISBN 978-84-7834-647-9. 274. pag. 2010.

[4.6] N. Miranda-García, M. Ignacio Maldonado, J.M. Coronado, Sixto Malato. Degradation study of 15 emerging contaminants at low concentration by immobilized TiO_2 in a pilot plant. Catalysis Today, 151, 107–113, 2010

[4.7] M. Jiménez, I. Oller, M.I. Maldonado, S. Malato, A. Hernández-Ramírez, J.M. Peralta-Hernández, A. Zapata. Solar Photo-Fenton Degradation of a Mixture Containing Partially Aqueous Soluble Pesticides. Evaluation of Ecotoxicity and Biodegradability. Poster presentation. Proceedings of the 6th European Meeting on Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Applications. Praga, 13-16 Junio de 2010. Josef Krysa (Ed.). ICT Prague Press, Praga. ISBN 978-80-7080-750-7. pp. 462-463.

[4.8] L. Prieto-Rodríquez, I. Oller, A. Agüera, S. Malato. Hydrogen Peroxide automatic control based on dissolved oxygen concentration during solar photo-Fenton process. Poster presentation. Proceedings of the 6th European Meeting on Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Applications. Praga, 13-16 Junio de 2010. Josef Krysa (Ed.). ICT Prague Press, Praga. ISBN 978-80-7080-750-7. pp. 464-465.

[4.9] M.M. Ballesteros Martín, J.L. Casas López , I. Oller, S. Malato, J.A. Sánchez Pérez. A comparative study of different tests for biodegradability enhancement determination during AOP treatment of recalcitrant toxic aqueous solutions. Ecotoxicology and Environmental Safety, 73, 1189–1195, 2010.

[4.10] J. L. Casas López, A. Cabrera Reina, E. Ortega Gómez, M. M. Ballesteros Martín, S. Malato Rodríguez, J. A. Sánchez Pérez. Integration of Solar Photocatalysis and Membrane Bioreactor for Pesticides Degradation. Separation Science and Technology, 45, 1571–1578, 2010.

[4.11] Ballesteros Martín, M. M.; Garrido, L.; Ortega Gómez, E.; Cabrera Reina, A.; Sánchez, O.; Más, J.; and M. I. Maldonado; "A reliable process for pesticide degradation: Photo-Fenton and membrane birreactor combination". VII ANQUE Internationall Congress. Integral Water

Cycle: Present and Future "A Shared Commitment". Oviedo (Spain), 13-16 Junio 2010. Póster (T8-030).

[4.12] M.M. Ballesteros, J.L. Casas, I. Oller, S. Malato, J.A. Sánchez. Pseudomonas putida as a new test for monitoring biodegradability enhancement durign AOP treatment of recalcitrant toxic aqueous solutions. VII ANQUE International Congress. 13th-16th June 2010. Oviedo, Spain. Comunicación oral.

[4.13] N. Klamerth, L. Rizzo, S. Malato, Manuel I. Maldonado, A. Agüera, A.R. Fernández-Alba. Degradation of fifteen emerging contaminants at µg L-1 initial concentrations by mild solar photo-Fenton in MWTP effluents. Wat Res. 44, 545-554, 2010.

[4.14] N. Klamerth, S. Malato, M. I. Maldonado, A. Agüera, A. R. Fernández-Alba. Application of photo-Fenton as a tertiary treatment of emerging contaminants in municipal wastewater. Env. Sci. Technol., 44, 1792-1798, 2010.

[4.15] N.Klamerth, M.I.Maldonado, A.Aguera, A.R. Fernández-Alba, S. Malato. Application Of Modified Mild Photo-Fenton As A Tertiary Treatment For Municipal Wastewater. Poster presentation. Proceedings of the 6th European Meeting on Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Applications. Praga, 13-16 Junio de 2010. Josef Krysa (Ed.). ICT Prague Press, Praga. ISBN 978-80-7080-750-7. pp. 268-269.

[4.16] Carla Sirtori, Ana Agüera, Wolfgang Gernjak, Sixto Malato. Effect of water-matrix composition on Trimethoprim solar photodegradation kinetics and pathways. Wat. Res., 44, 2735-2744, 2010.

[4.17] F. Mazille, T. Schoettl, N. Klamerth, S. Malato, C. Pulgarin. Field solar degradation of pesticides and emerging water contaminants mediated by polymer films containing titanium and iron oxide with synergistic heterogeneous photocatalytic activity at neutral pH. Wat. Res., 44, 3029-3038, 2010.

[4.18] A. Zapata, I. Oller, L. Rizzo, S. Hilgert, M.I. Maldonado, J.A. Sánchez-Pérez, S. Malato. Evaluation of operating parameters involved in solar photo-Fenton treatment of wastewater: Interdependence of initial pollutant concentration, temperature and iron concentration. Applied Catalysis B: Environmental, 97, 292–298, 2010.

[4.19] A. Zapata, S. Malato, J.A. Sánchez-Pérez, I. Oller, M.I. Maldonado. Scale-up strategy for a combined solar photo-Fenton/biological system for remediation of pesticide-contaminated water. Catalysis Today, 151, 100–106, 2010.

[4.20] A. Zapata, I. Oller, C. Sirtori , A. Rodríguez, J.A. Sánchez-Pérez, A. López, M. Mezcua, S. Malato. Decontamination of industrial wastewater containing pesticides by combining large-scale homogeneous solar photocatalysis and biological treatment. Chemical Engineering Journal, 160, 447–456, 2010.

[4.21] Ana Zapata, Isabel Oller, Carla Sirtori, Alejandro Rodríguez, José Antonio Sánchez-Pérez, Sixto Malato. Tratamiento de aguas reales contaminadas con plaguicidas a escala industrial. Combinación de los procesos de foto-fenton solar y oxidación biológica. Tecnoambiente, 208, 27-30, 2010

[4.22] Carla Sirtori, Ana Zapata, Wolfgang Gernjak, Sixto Malato, Antonio Lopez, Ana Agüera. Solar photo-Fenton degradation of nalidixic acid in waters and wastewaters of different composition. Analytical assessment by LC-TOF-MS. Wat. Res., 45, 1736-1744, 2011.

[4.23] Sixto Malato. Biorecalcitrant industrial wastewater treatment by integrating advanced oxidation and biological processes. Innovative and

sustainable technologies for urban and industrial wastewater treatment. 27 de Enero, 2010. Gante, Bélgica. Comunicación oral.

[4.24] A. Zapata, I. Oller, C.Sirtori, A. Rodríguez, A. López, S. Malato. Combined Solar Photo-Fenton/Biological System for Decontamination of Real Pesticide-Contaminated Water at Industrial Scale. Oral presentation. Proceedings of the 6th European Meeting on Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Applications. Praga, 13-16 de Junio, 2010. Josef Krysa (Ed.). ICT Prague Press, Praga. ISBN 978-80-7080-750-7. pp. 205-206.

[4.25] 10. C. Sirtori, A. Zapata, S. Malato, A. Agüera. Evaluation of the Formation of Chlorinated Intermediates During Photo-Fenton Treatment of Saline Wastewaters. Poster presentation. Proceedings of the 6th European Meeting on Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Applications. Praga, 13-16 de Junio, 2010. Josef Krysa (Ed.). ICT Prague Press, Praga. ISBN 978-80-7080-750-7. pp. 449-450.

[4.26] M. Fontán-Sanz, H. Gomez-Couso, P. Fernández-Ibáñez, E. Ares-Mazas. Disinfection of drinking water in developing countries using a 25l-batch CPC solar reactor. Poster in 7th ANQUE International Congress. Oviedo, España, 13-16 de Junio, 2010.

[4.27] Eunice Ubomba-Jaswa, Pilar Fernández-Ibáñez, Christian Navntoft, M. Inmaculada Polo-López, Kevin G. McGuigan. Investigating the microbial inactivation efficiency of a 25 L batch solar disinfection (SODIS) reactor enhanced with a compound parabolic collector (CPC) for household use, Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 85, 1028-1037, 2010.

[4.28] M.I. Polo-López, P. Fernández-Ibáñez, I. García-Fernández, I. Oller, I. Salgado-Tránsito, C. Sichel "Resistance of Fusarium sp spores to solar TiO2 photocataly-sis: influence of spore type and water (scaling-up results)", Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 85, 1038-1048, 2010.

[4.29] M.I. Polo-Lopez, I. García-Fernández, I. Oller, P. Fernández-Ibáñez. Chlamy-dospores of Fusarium equieti inactivation by homogeneous photocatalysis using CPC reactor. Poster in 6th European Meeting on Solar Chamistry and Photocatalysis. Environmental Applications. Praga, República Checa, 13-16 de Junio, 2010.

[4.30] M.I. Polo-Lopez, I. García-Fernández, P. Fernández-Ibáñez. Solar Photocatalytic treatments applied to water disinfection. Comunicación oral. in 7th ANQUE International Congress. Oviedo, España, 13-16 de Junio, 2010.

[4.31] P. Fernández-Ibáñez; M.I. Polo-López, I. García-Fernández. Pilot scale solar photocatalytic disinfection of water. Oral communication in the 15th Interna-tional Conference on TiO2 Photocatalysis: Fundamentals and Applications (TiO2-15). San Diego, California, USA, 15-18 de Noviembre, 2010.

[4.32] Alam G. Trovó, Raquel F.P. Nogueira, Ana Agüera, Amadeo R. Fernandez-Alba, Sixto Malato. Degradation of the antibiotic amoxicillin by photo-Fenton process – chemical and toxicological assessment. Wat. Res., 45, 1394-1402, 2011.

[4.33] E. Ubomba-Jaswa, P. Fernández-Ibáñez, K.G. McGuigan, "A Preliminary Ames-Fluctuation Assay Assessment of the Genotoxicity of Drinking Water that has been Solar Disinfected in Polyethylene Terephthalate (PET) Bottles" Journal of Water & Health, 08, 712-719, 2010.

[4.34] E. M. Rodríguez, G. Fernández, N. Klamerth, M. I. Maldonado, P. M. Álvarez, S. Malato. Efficiency of different solar light-based advanced oxidation processes on the oxidation of bisphenol-A in Water. App. Catalysis B: Environ. 95, 228-237, 2010.

[4.35] Jelena Radjenovic, Carla Sirtori, Mira Petrovic, Damià Barceló, Sixto Malato. Characterization of intermediate products of solar photocatalytic degradation of ranitidine at pilot-scale. Chemosphere 79, 368-376, 2010.

[4.36] Micó, M. M.; Zapata, A.; Maldonado, M. I.; Sans, C.; Bacardit, J.; "Solar photo-Fenton applied to pesticide removal on Advanced Greenhouses waters". Poster presentation. Proceedings of the 6th European Meeting on Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Applications. Praga, 13-16 de Junio , 2010. Josef Krysa (Ed.). ICT Prague Press, Praga. ISBN 978-80-7080-750-7. pp. 453-454.

[4.37] Sánchez, O.; Garrido, L.; Forn, I.; Massana, R., Maldonado, M. I.; Más, J.; "Diversity of activated sludge from a seawater-processing wastewater treatment plant: assessment through clone libraries, fingerprinting and fish". VII ANQUE Internationall Congress. Integral Water Cycle: Present and Future "A Shared Commitment". Oviedo (Spain), 13-16 de Junio de 2010. Póster (T5-026).

[4.38] M. Fontán-Sanz, H. Gomez-Couso, P. Fernández-Ibáñez, E. Ares-Mazas. Disinfection of drinking water in developing countries using a 25l-batch CPC solar reactor. Poster in 7th ANQUE International Congress. Oviedo, España, 13-16 de Junio, 2010.

[4.39] C. Sordo, R. Van Grieken, J. Marugan, P. Fernandez-Ibañez. "Solar photocata-lytic disinfection with immobilised TiO2 at pilot-plant scale". Water Science and Technology, 61 (2), 507-512, 2010.

[4.40] J. Soria, J. Sanz, I. Sobrados, J.M. Coronado, M. D. Hernández-Alonso, F. Fresno. Journal of Physical Chemistry C 114 (2010) 16534-16540.

[4.41] M.D. Hernández-Alonso, S. García-Rodríguez, B. Sánchez, J.M. Coronado. Nanoscale (*enviado 2010*)

[4.42] B. Sanchez, R. Portela, S. Suárez, J. Coronado PCT/ES2010/070799.

[4.43] R. Portela, S. Suárez, R.F. Tessinari, M.D. Hernández-Alonso, M.C. Canela, B. Sánchez, Appl. Catal. B (sent 2010).

[4.44] B. Sanchez, M. Sanchez-Muñoz, M. Muñoz-Vicente, G. Cobas, R. Portela, S, Suárez, A. E. Gonzalez, N. Rodríguez, R. Amils, Chemosphere (enviado).

[4.45] N. Miranda-García; M. Ignacio Maldonado; J. M. Coronado; Sixto Malato, "Degradation study of fifteen emerging contaminants at low concentration by immobilized TiO2 in a pilot plant". Catalysis Today 151 (2010) 107-113.

[4.46] N. Klamerth; S. Malato; M. I. Maldonado; A. Agüera, A. R. Fernández-Alba. "Aplication of photo-Fenton as a tertiary treatment of emerging contaminants in municipal wastewater". Environ. Sci. Technol., 44, (2010) 1792-1798.

[4.47] Klamerth, N.; Rizzo, L.; Malato, S.; Maldonado, M. I.; Agüera, A.; Fernández-Alba, A. R. "Degradation of fifteen emerging contaminants at µg L-1 initial concentrations by mild solar photo-Fenton in MWTP effluents". Water Research 44 (2010) 545-554.

[4.48] S. Suárez, T.L.R. Hewer, R. Portela, M.D. Hernandez-Alonso, R.S. Freire, B. Sanchez, Appl. Catal. B 101 (2011) 176-182.

[4.49] R. Portela, S. Suárez, S.B. Rasmussen, N. Arconada, Y. Castro, A. Durán, P. Ávila, J.M. Coronado, B. Sánchez, Catal. Today 151 (2010) 64-70.

[4.50] S.B. Rasmussen, R. Portela, S. Suárez, J.M. Coronado, M.L. Rojas-Cervantes, P. Avila, B. Sánchez, Ind. Eng. Chem. Res. 49 (2010) 6685–6690.
[4.51] Sánchez Cabrero, Benigno; Portela Rodríguez, Raquel; Suárez Gil, Silvia; Coronado Carneiro, Juan. PCT/ES2010/070799.
[4.52] M. Sánchez-Muñoz, M. Muñoz-Vicente, G. Cobas, R. Portela, R. Amils y B. Sánchez. Appl. Env. Microb (enviado 2010).
[4.53] Guillén E., Blanco J., Alarcón-Padilla D., Zaragoza G., Palenzuela P., Ibarra M. (2010) Preliminary assessment of a solar energy driven membrane distillation system. In: EuroMed 2010 Desalination for Clean Water and Energy. 3-6 October 2010, Tel Aviv, Israel.
[4.54] Ibarra M., Alarcón D., Blanco J., Zaragoza G., Guillén E., Palenzuela P. (2010) Design and implementation of an innovative 190ºC solar ORC pilot plant at the PSA. In: SolarPACES 2010. The CSP Conference: Electricity, Fuels and Clean Water from Concentrated Solar Energy. 21-24 September 2010, Perpignan, France.
[4.55] Roadmap for the development of desalination powered by renewable energy. Eds: M. Papapetrou, M. Wieghaus, C. Biercamp. Fraunhofer Verlag, 2010, Stuttgart, Germany. ISBN 978-3-8396-0147-1.
[4.56] Blanco J., Alarcón D., Zaragoza G., Guillén E., Palenzuela P., Ibarra M. (2010) Expanding CSP research frontier: Challenges to be addressed by Combined Solar Power and Desalination plants. In: SolarPACES 2010. The CSP Conference: Electricity, Fuels and Clean Water from Concentrated Solar Energy. 21-24 September 2010, Perpignan, France.
[4.57] Palenzuela P., Alarcón D., Blanco J., Zaragoza G., Guillén E., Ibarra M. (2010) Steady-State Mathematical Modeling of a Solar Multi-Effect Desalination Plant at the Plataforma Solar de Almería. In: EuroMed 2010 Desalination for Clean Water and Energy. 3-6 October 2010, Tel Aviv, Israel.
[4.58] Alarcón-Padilla D.C., García-Rodríguez L., Blanco-Gálvez J. (2010) Experimental assessment of connection of an absorption heat pump to a multi-effect distillation unit. Desalination 250, pp. 500-505.
[4.59] Alarcón-Padilla D.C., García-Rodríguez L., Blanco-Gálvez J. (2010) Integración de producción de electricidad y agua. Connection of absorption heat pumps to multi-effect distillation systems: pilot test facility at the Plataforma Solar de Almería (Spain). Desalination and Water Treatment 18, pp. 1-7.
[4.60] Alarcón-Padilla D.C., García-Rodríguez L., Blanco-Gálvez J. (2010) Design recommendations for a multi-effect distillation plant connected to a double-effect absorption heat pump: a solar desalination case study. Desalination 262, 11-14.

5 Eventos

Diego Martínez Plaza

El día 23 de febrero tuvo lugar en la PSA la conferencia titulada:

'Conference on Policies to promote Renewable Energy in Europe'

formando parte del programa de actos organizado por el Gobierno de España con motivo de la Presidencia Española de la UE en el primer semestre del año.

Intervinieron las siguientes personalidades:

Luis Crespo Rodríguez	Director General Centro Tecnológico Avanzado de Energías Renovables (CTAER)
Antonio Hernández Garcia	Director General Politica Energetica y Minas, (MITYC)
Pedro Roque Molina Garcia	Rector Universidad De Almeria
Isabel De Haro Aramberri	Secretaria General de Desarrollo Energético e Industrial. Junta de Andalucía
Carlo Rubbia	Premio Nobel Física CERN
Cayetano López Martínez	Director General del CIEMAT

6 Lista de Acrónimos

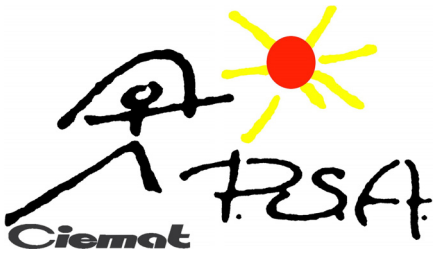
A	Austria
ACV	Análisis de ciclo de vida
AD	Agua distilada
AMES	Unidad de Aplicaciones Medioambientales de la Energía Solar
AENOR	Asociación Española de Normalización y Certificación
AGMD.....	Air Gap Membrane Distillation
ARFRISOL	Arquitectura Bioclimática y Frío Solar
ARG	Argentina
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ATD	Sistema de Desorción Térmica automatizado
BOKU	Universtität Für Bodenkultur (A)
BRA	Brazil
BSRN	Baseline Surface Radiation Network (BSRN)
BZU	Birzeit University (PLE)
CA	Coordination action
CBMSO	Centro de Biología Molecular Severo Ochoa
CCD	charge-coupled device
CCP.....	Colectores cilindro-parabólicos
CDTI	Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial
CE	Comisión Europea
CEA.....	Commissariat à l''énergie atomique
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
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)
CNRS	Centro Nacional de Investigacion Cientifica (F)
COD	Carbono orgánico disuelto
COT	carbono orgánico total
COVs.....	compuestos orgánicos volátiles
CPC.....	captadores cilindroparabólico compuestos
CRES.....	Centre for Renewable Energy Sources (GR)
CREST.....	Centre for Research in Engineering Surface Technology (IRL)

CRO	Ciclo Orgánico de Rankine
CRS.....	Central receiver system
CSIR	Council for Scientific and Industrial Research (ZA)
CSIC	Consejo Superior de Investigación Científica
CSP.....	Concentrating Solar Power
CSP+D	procesos de desalinización de agua en plantas solares de potencia
CTAER	Centro Tecnológico Avanzado de Energías Renovables
D	Alemania
DBO	demanda biológica de oxígeno
DCAC	cloruro de dicloroacetil
DG TREN..	Directorate-General for Transport and Energy
DIN.....	Instituto Alemán de Normalización
DISS	Direct Solar Steam
DISTAL	Dish Stirling Almería
DLR.....	Instituto de Investigación Aeroespacial Alemán
DM.....	Destilación por membranas
DNI.....	Irradiancia en dirección normal
DQO.....	demanda química de oxígeno
DRIFTS	espectroscopia de reflectancia difusa
DRX	difracción de rayos X
DSA	ánodo dimensionalmente estable
DTG	Termogravimetría diferencial
DTA.....	Análisis térmico diferencial
DZ	Argelia
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
EIT.....	Instituto Europeo de Innovación y Tecnología
ENEA.....	Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente (I)
ERA-STAR	Space Technologies Applications & Research for the Regions and Medium-Sized Countries
ETC.....	Captadores solares estáticos de tubo evacuado
ETH.....	Instituto Federal Suizo de Tecnología Zurich (CH)
F.....	Francia
FEDER	Fondo Europeo de Desarrollo Regional
FID	Detector de ionización de llama
FRESDEMO	Lazo de demostración de Concentratador Lineal Fresnel
FT-IR.....	Fourier Transform InfraRed
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 (MAR)
IBR	Reactor de biomasa inmobilizada
ICP-CSIC .	Instituto de Catalysis y Petroleoquímica
ICROSS ...	International Community for Relief of Starvation and Suffering (Kenya)
ICTS.....	Instalaciones Científico-Tecnológicas Singulares
IDAE	Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
I+D+i.....	Investigación, desarrollo e innovación
IIE	Instituto de Investigaciones Eléctricas (MEX)
IL	Israel
IMDEA	Instituto Madrileño de Estudios Avanzados
INCO	Actividades específicas de Cooperación Internacional
INESC	Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores
INTA	Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial
IP	ioduro de propidio
IR	Infrarrojo
IRL.....	Irlanda
IRSA	Instituto de Investigación del Agua (I)
ISO	Organización Internacional de Normalización
ITC	Instituto Tecnológico de Canarias
IWA	International Water Association
KIC	Knowledge and Innovation Communities (EU)
LBNL	Lawrence Berkley National Laboratory (USA)
LC-TOF-MS	cromatografía líquida acoplada a un espectrómetro de masas con tiempo de vuelo
LECE	Laboratorio de Ensayo Energéticos de Componentes de Edificación (CIEMAT)
LT-MED....	destilación multiefecto de baja temperatura
MAR	Maruecos
MBR	Reactor de membrana
MEC	Ministerio de Educación y Ciencia
MED	destilación multiefecto
MET	microscopía electrónica de transmisión
MEX	Méjico
MOF	Materiales organometálicos
MS	Espectrometría de masas
N	Noruega
NASA	National Aeronautics and Space Administration (USA)
NIBEC	Departamento de Nanotecnología y Centro Integrado de Bioingeniería
NIR	Infrarrojo cercano
NL.....	Paises Bajos
NO	Óxido nítrico
NREL.....	National Renewable Energy Laboratory (NREL)
NXA	ácido nalidíxico
OD	Oxígeno disuelto
ORC	Ciclo Rankin orgánico
ORP	reacción de reducción-oxidación
P	Portugal
PAO	procesos avanzados de oxidación

PCM	materiales de cambio de fase (phase change materials)
PCSD.....	Palawan Council for Sustainable Development (PH)
PH.....	Filipinas
PhilGBC ...	Philippine Green Building Council
PLC	Controlador lógico programable
PLE	Palestine
PM	Programa marco (CE)
POL.....	Polonia
PROHERMES	Programmable Heliostat and Receiver Measuring System
PROMES...	Le Laboratoire PROcédés, Matériaux et Energie Solaire
PSA.....	Plataforma Solar de Almería
PSE	Proyecto Singular Estratégico
PSI.....	Paul Scherrer Institut (CH)
PVDSA.....	Petroleos de Venezuela, S.A.
PWA	Palestinian wáter authority (PLE)
PYME.....	Pequeña y Mediana Empresa
QUV	densidad de energía solar recibida
RAMSA	Régie autonome multiservice d'Agadir (MAR)
RC	Receptor central
RCH	República de Chile
RCSI	Royal College of Surgeons (IRL)
S	Suecia
SSBGR.....	Reactor secuencial biológico aerobio granulado
SCADA.....	Control Supervisorio y Adquisición de Datos
SCU	Consejo Supremo de Universidades (EGY)
SEM	microscopio electrónico de barrido
SFERA	Solar Facilities for the European Research Area (EC)
SODIS	solar disinfection
SolarPACES	Solar Power And Chemical Energy Systems (IEA)
SolLAB.....	Laboratorio Asociado Europeo de Energía Solar
SSPS	Small Solar Power System
STE-RC....	planta solar termoeléctrica de receptor central
Syngas	gas de síntesis
TA.....	Tanque agitado
TCE.....	tricloroetileno
TDC.....	detector de conductividad térmica
TEM.....	microscopio electrónico de transmisión
TRC.....	tecnología de receptor central
TUN.....	Túnez
TUR.....	Turquía
TVC-MED .	planta MED con termocompresión
UAH	Universidad de Alcalá de Henares
UAL.....	Universidad de Almería
UAM	Universidad Autónoma de Madrid
UCLM.....	Universidad de Castilla La Mancha
UCM	Universidad Complutense de Madrid
UE.....	Unión Europea
UENF	Universidade Estadual do Norte Fluminense (BRA)
UK	Reino Unido

UPLC	cromatógrafo de líquidos de ultra rendimiento
UPM	Universidad Politécnica de Madrid
UPS.....	Université Paul Sabatier (F)
URA	Accesorio universal de reflectancia
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
XPS.....	Espectroscopia de fotoelectrones emitidos por rayos X
ZA	África del Sur
ZW.....	Zimbabwe



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