

Plataforma
Solar de
Almería



Informe Anual 2001



MINISTERIO
DE CIENCIA
Y TECNOLOGÍA

Ciemat

Centro de Investigaciones
Energéticas, Medioambientales
y Tecnológicas



Índice

Introducción	5
Presentación General	7
Objetivos de la PSA como Gran Instalación Solar	7
Organigrama y Estructura Funcional	8
Recursos Económicos y Humanos.....	9
Entorno de Colaboración	11
Instalaciones e Infraestructuras	13
Descripción General de la PSA	13
Instalaciones de Receptor Central: CESA-1 y CRS	14
Instalaciones con Concentradores de Foco Lineal: DCS, DISS, EUROTROUGH y LS3	17
Sistemas Disco-Stirling: DISTAL y EURODISH.....	22
El Horno Solar.....	24
Instalaciones de Química Solar	26
Otras instalaciones.....	28
Proyectos de I+D	31
Introducción	31
Tecnología de Receptor Central	33
Tecnología de Colectores Cilíndroparabólicos	50
Química Solar	59
Formación y Acceso.....	69
Referencias Documentación.....	80
Lista de Acrónimos.....	84
Lista de Contactos.....	87

Introducción

Con el presente Informe Anual correspondiente al año 2001, se abre para la Plataforma Solar de Almería una nueva serie en este tipo de documento, al ser el primero que recoge las actividades desempeñadas en nuestras instalaciones desde la retirada por parte de la Agencia Aeroespacial Alemana (DLR) en diciembre de 1998 de la operación y gestión conjunta de la PSA. Desde enero de 1999 la gestión de la Plataforma Solar es desarrollada enteramente por el CIEMAT, si bien se sigue contando con una importante y fructífera colaboración de DLR en un nuevo marco de relaciones basado en la formulación de proyectos de I+D específicos de interés mutuo.

El comienzo de la nueva andadura en los años 1999 y 2000, y los resultados obtenidos, nos permite abordar con optimismo la elaboración de este Resumen Anual de actividades del año 2001, una vez consolidada la nueva estructura de funcionamiento y despejadas las lógicas incógnitas que en su momento pudieran existir en cuanto al futuro de una instalación que podemos considerar única en el Mundo. La publicación del Plan de Fomento de las Energías Renovables en España en diciembre de 1999, el impulso recibido desde las distintas convocatorias del V Programa Marco de I+D de la Comisión Europea, y la ayuda de los programas FEDER y PROFIT, sin dejar de lado el decidido apoyo interno recibido desde el Comité de Dirección de CIEMAT, ha dado lugar a que disfrutemos de una situación indudablemente mejor que la que teníamos al inicio de esta nueva etapa. Fruto de ello se recogen en este Resumen importantes resultados de I+D en las distintas tecnologías de concentración solar y la creación de nuevas instalaciones, que se verán aumentadas en los próximos dos años como resultado de nuevos proyectos en ciernes en el ámbito del almacenamiento térmico para captadores cilindroparabólicos, en la desalación solar con un nuevo campo de captadores CPC o en el tratamiento de materiales con altos flujos de radiación solar mediante el uso de un nuevo horno de eje vertical.

La inminente aprobación de una prima sobre la energía eléctrica producida por las centrales eléctricas termosolares, que reconozca los beneficios medioambientales de éstas y que ya disfrutan otras energías renovables, va a suponer sin duda en el futuro inmediato un nuevo reto para la PSA y el equipo humano que la compone, ya que tendrá que abordar nuevas necesidades de I+D asociadas a la demanda del sector industrial. Esta actividad deberá conjugarse con una mayor integración en el sistema de I+D español de acuerdo a la nueva dinámica que se viene potenciando desde la creación en el año 2000 del Ministerio de Ciencia y Tecnología.

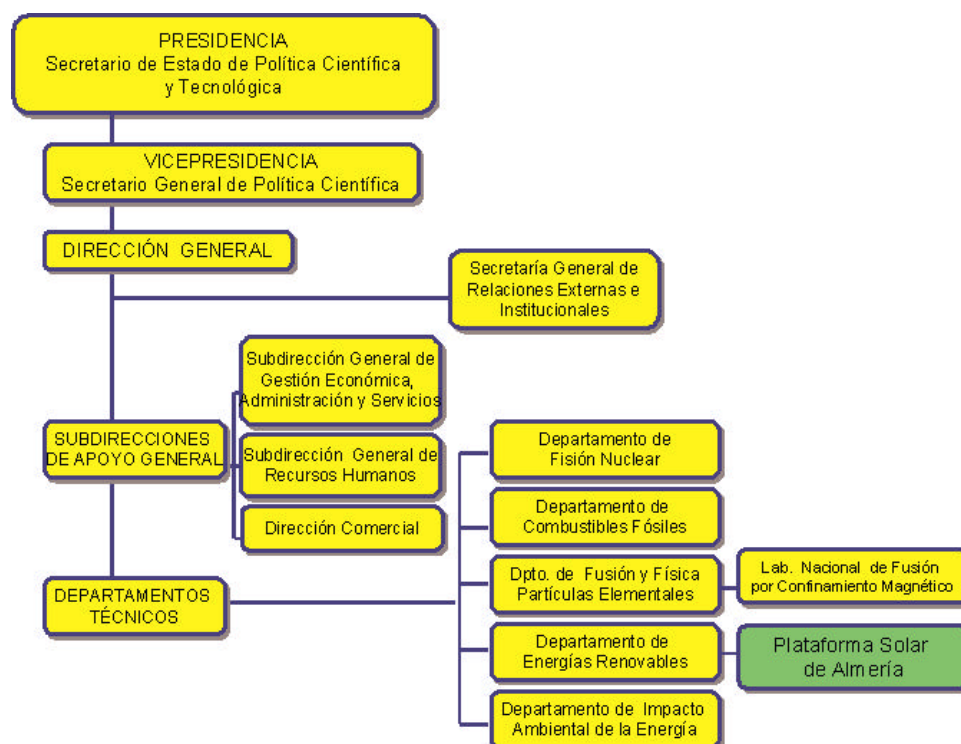
No quiero terminar esta introducción sin dejar de agradecer al equipo humano de la PSA su profesionalidad y dedicación, sin las cuales el buen funcionamiento de la misma y la consecución de los objetivos fijados no sería posible, y muy especialmente quiero reconocer la labor del anterior Director de la PSA, Manuel Blanco Muriel, quién con su tesón y buen hacer ha contribuido en gran medida a que el periodo 1999-2001 haya servido para consolidar el futuro de esta gran instalación científica.



Manuel Romero Álvarez
Director Plataforma Solar de Almería

Presentación General

Objetivos de la PSA como Gran Instalación Solar



Integración de la PSA en la estructura orgánica del CIEMAT

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 línea de I+D dentro de la estructura del Departamento de Energías Renovables del CIEMAT.



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 europea 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.

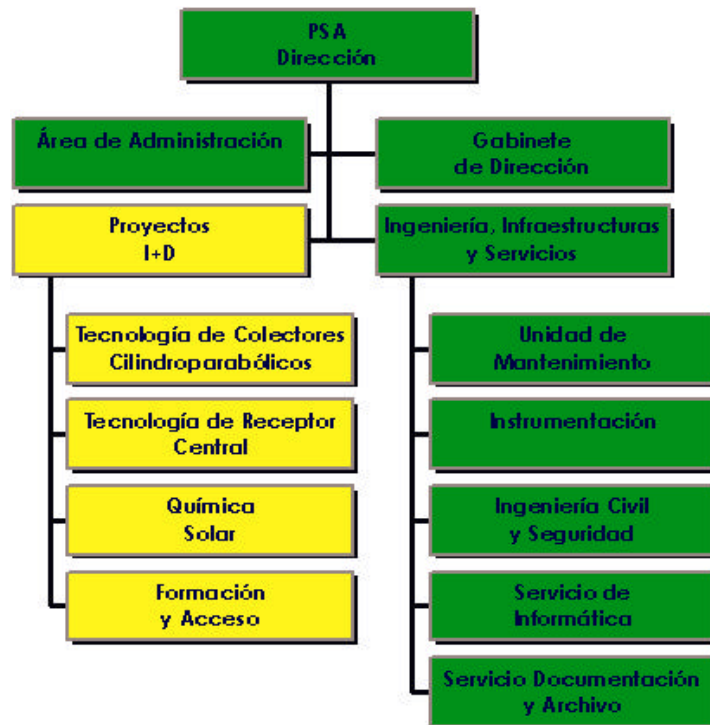
Organigrama y Estructura Funcional

La actividad investigadora que se lleva a cabo en la Plataforma Solar de Almería se estructura en torno a cuatro grandes proyectos de investigación: “Tecnología de Colectores Cilindroparabólicos”, “Tecnología de Receptor Central”, “Química Solar” y “Formación y Acceso a la Plataforma Solar de Almería”. Los dos primeros están dedicados al desarrollo de nuevas y mejores formas de producir electricidad por medios termosolares; el tercero a explorar las posibilidades químicas de la energía solar, sobre todo en lo que se refiere a su potencial para la destoxificación de efluentes industriales, la síntesis de productos de química fina y la desalación de agua; finalmente, el cuarto tiene

como objetivo la puesta a disposición de la comunidad científica internacional de las infraestructuras de la PSA y la formación de jóvenes investigadores en las tecnologías que se desarrollan en el centro.

Como apoyo a los proyectos de I+D anteriormente mencionados, la PSA cuenta con las correspondientes áreas de gestión y servicios, que dada la variedad y complejidad de instalaciones existentes son de extraordinaria importancia para el desenvolvimiento diario de todas las líneas de actuación que tienen lugar en el centro.

Cada Proyecto de I+D cuenta con un Jefe de Proyecto y un personal técnico en cuyo trabajo descansan las líneas maestras de actividad científica y de desarrollo tecnológico de la PSA. Éstos 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, los cuatro Proyectos de I+D comparten una gran cantidad de recursos, servicios e infraestructuras de la PSA, por lo que han de mantener en todo momento una comunicación fluida con las unidades de apoyo técnico y de administración, a través del Área de Dirección, la cual ha de velar porque las capacidades, infraestructuras y recursos humanos de apoyo son distribuido de forma eficiente. Es también el Área de Dirección quién canaliza las demandas hacia las distintas Subdirecciones de Apoyo General del CIEMAT ubicadas en Madrid.



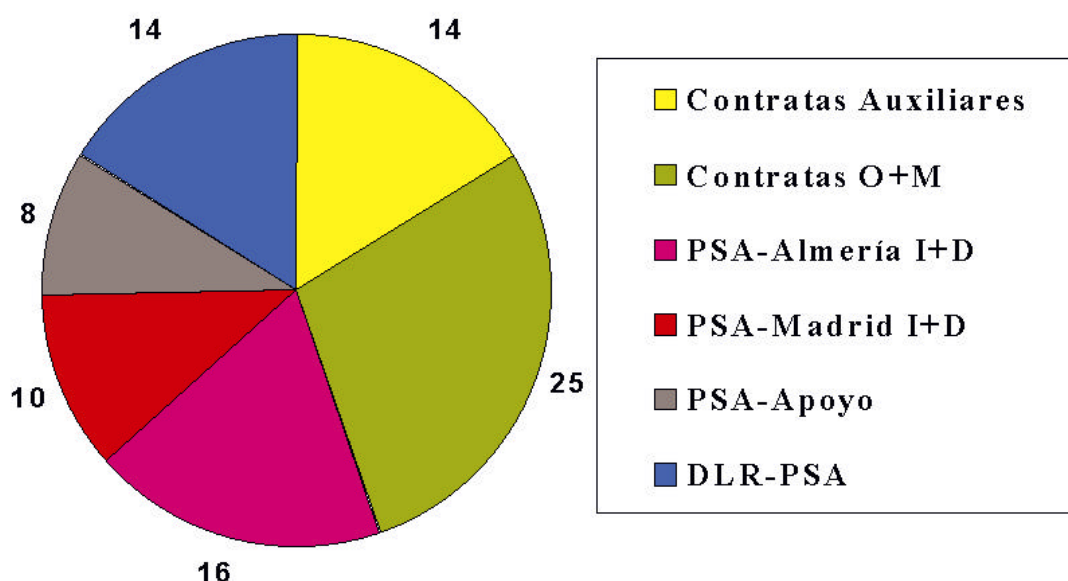
Organigrama PSA 2001. En color verde se recogen las unidades funcionales y servicios adscritos al Área de Dirección.

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 87 personas que constituye a diciembre de 2001 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 que son gestionadas a través del Proyecto de Formación y Acceso y que será descrito con posterioridad.

De las 87 personas que diariamente desarrollan su trabajo en la PSA, un colectivo importante lo forman el personal de las contratas auxiliares y de operación y mantenimiento de las distintas instalaciones (39 personas). Las contratas auxiliares están formadas por 3 personas de limpieza, 6 de personal administrativo y 5 de vigilancia y seguridad. En cuanto a las contratas de O+M se distribuyen en 8 operadores de instalaciones, 4 vigilantes de operación y 13 personas de mantenimiento mecánico, eléctrico y electrónico. El resto del personal se distribuye en 34 personas de plantilla de la PSA (personal de CIEMAT) y 14 personas que forma parte de la delegación permanente que DLR tiene en la PSA como consecuencia del desarrollo de los actuales compromisos del Convenio Hispano Alemán.



Distribución del personal que desarrolla su actividad en la PSA de forma permanente a Diciembre de 2001

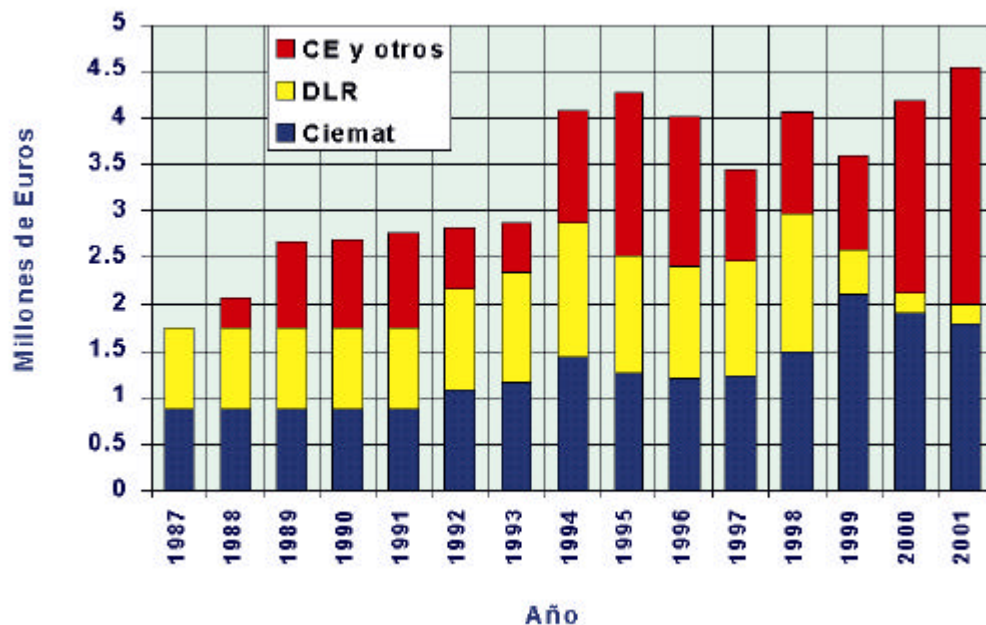
Centrándonos en el personal que desarrolla labores específicamente de I+D, podemos observar que la PSA cuenta con una plantilla todavía reducida de 26 personas de las cuales 16 están ubicadas en Almería y otras 10 personas desarrollan su actividad integradas en los proyectos de I+D de la PSA, pero desempeñando su labor desde el CIEMAT en Madrid. Otras 12 personas de la delegación permanente de DLR se suman a las labores de I+D, por lo que el total de personal de I+D en la PSA asciende a 38 personas. Es sin duda este un aspecto a mejorar y es la firme voluntad del CIEMAT que en los años venideros la ratio de personal dedicado a I+D se vaya incrementando de forma ininterrumpida.

En lo que se refiere al presupuesto de la PSA, se puede apreciar que a pesar de la retirada de DLR del presupuesto básico de gastos de O+M, se ha podido mantener la tendencia creciente, gracias en buena medida a la mayor captación de ingresos y a que el propio CIEMAT ha asumido la parte del presupuesto básico que antes absorbía el Convenio Hispano Alemán.

En el éxito de captación de ingresos, fundamentalmente de la Comisión Europea, ha tenido una contribución destacable el propio DLR. El planteamiento de un buen número de nuevos proyectos conjuntos a la CE ha facilitado que DLR siga presente en la PSA en

una nueva relación basada en la realización de proyectos específicos y fruto de este éxito es la relevancia de la delegación alemana en la PSA.

El presupuesto de la PSA alcanzó en el año 2001 los 4,5 millones de Euros (no se incluyen en este presupuesto los costes de personal de I+D asociado en Madrid). De esta cantidad un 60% lo constituyen ingresos exteriores.



Evolución del presupuesto de gastos de la PSA y distribución por origen de la financiación

Entorno de Colaboración

Como se ha referido con anterioridad la PSA mantiene desde el año 1987 un Convenio de colaboración Hispano-Alemán con el DLR, habitualmente conocido como el CHA. El Anexo I de dicho convenio finalizó en diciembre de 1998, siendo sustituido por un nuevo Anexo que regula las nuevas relaciones con DLR en base a proyectos concretos de I+D. El nuevo CHA finalizó en diciembre de 2001 y ha sido extendido de común acuerdo por un año más hasta diciembre de 2002. Durante el año 2002 el CHA será objeto de una revisión y actualización con el fin de recoger los intereses futuros de ambas instituciones que desean seguir trabajando conjuntamente en el mismo marco de colaboración y amistad.

Con todo, el entorno de colaboración en que se mueve la PSA es notablemente amplio. En el ámbito internacional, la PSA participa activamente en las Tareas I, II y III del programa SolarPACES de la AIE, donde se intercambia información y se realizan tareas a costes compartidos con centros homólogos en varios países (EEUU, México, Brasil, Alemania, Francia, Reino Unido, Suiza, Comisión Europea, Sudáfrica, Israel, Rusia, Australia y Egipto).

Dentro del Proyecto de Formación y Acceso se mantienen relaciones con más de 60 grupos y universidades de distintos países europeos a través del programa IHP (Improving Human Potential), al ser la PSA una de las instalaciones científicas europeas seleccionadas. Se cuenta asimismo con un convenio para la gestión de becas conjuntas con la Universidad de Almería y otros acuerdos educacionales con la Ecôle Nationale des

Ponts et Chaussées de Paris y la ETH (Escuela Politécnica de Zurich). Se encuentra también en marcha la formulación de un acuerdo de colaboración con el laboratorio solar de materiales del CNRS en Odeillo (Francia) y se participa activamente en la red europea EUROCARE para la formulación de proyectos que integren energía solar y tecnologías avanzadas de combustión.

En cuanto a tecnología de colectores cilindroparabólicos, el entorno de colaboración sigue siendo bueno, ya que la PSA tiene relaciones contractuales con un amplio abanico de instituciones nacionales e internacionales. Se siguió colaborando en el año 2001 con la Universidad de Sevilla, con Centros de Investigación (el DLR, el ZSW y el Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems de Alemania; el National Institute of Chemistry de la Universidad de Ljubljana en Eslovenia; el National Testing and Research Institute de Suecia; el TNO de Holanda; el CRES de Grecia; y el Solartechnik Prüf und Forschungsstelle Schweiz de Suiza), Compañías Eléctricas (las españolas ENDESA e IBERDROLA), Industrias (la española INABENSA, y la alemana FLABEG Solar Int.) e Ingenierías (las alemanas FICHTNER y SBP; y la española INITEC).

En el ámbito de la tecnología de receptor central, y dentro del contexto nacional se ha mantenido la colaboración en proyectos con las empresas INABENSA, GHERSA, AICIA, IBERESE y SERLED, y universidades como la Universidad de Sevilla, Almería y UNED. A éstas se ha unido durante el año 2001 la empresa EHN por su iniciativa del Parque Solar Montes del Cierzo en Tudela. Bajo el paraguas del V Programa Marco en su Programa de Energía y del Convenio Hispano Alemán, se ha colaborado intensamente con DLR en varios proyectos y con otras instituciones y empresas europeas como ORMAT (Israel), TUMA (Suiza), Heron (Holanda), FICHTNER (Alemania), STC (Dinamarca), Forth-Cperi (Grecia), Saint Gobain (Francia) y SIMTECH (Austria).

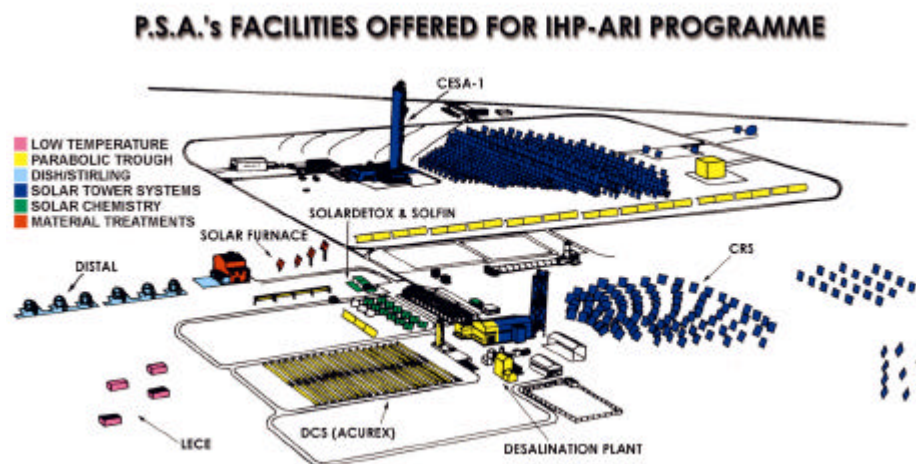
El número de instituciones y empresas con los que se colabora en el ámbito de la Química Solar y especialmente en el uso de la fotocatalisis solar para la destoxificación y descontaminación de efluentes líquidos y gaseosos es enorme. Una red relevante en la que actualmente está participando la PSA es una red CYTED sobre "Óxidos semiconductores y materiales relacionados en aplicaciones medioambientales ópticas", a través de la cual se colabora con más de 20 grupos participantes de Argentina, Brasil, México, Chile, Colombia, Perú, Cuba Venezuela y España. En el contexto regional se ha participado en el año 2001 en la Red Andaluza para la medida de radiación Ultravioleta y Fotoprotección, coordinada por la Universidad de Málaga y con participación también del INTA. En el ámbito europeo se ha participado en la red "Targeted Research Action on Waste Minimization and Recycling (TRAWMAR)". La red TRAWMAR ha involucrado a unos 30 proyectos Europeos BRITE-EURAM, aprobados dentro del IV Programa Marco de la CE. En relación con varios proyectos de I+D se mantienen colaboraciones nacionales con la Universidad de Almería, el ICP-CSIC (Madrid), la UAB (Barcelona) y el ICMAB-CSIC (Barcelona). En el ámbito europeo destacan también las colaboraciones con la Universidad de Viena, con el INETI y la empresa AOSOL de Portugal y el Paul Scherrer Institut de Suiza. La diversificación de actividades del proyecto de Química Solar durante el año 2002 hace prever una intensificación de las colaboraciones en otros temas como producción de hidrógeno y desalación solar.

Instalaciones e Infraestructuras

Descripción General de la PSA

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

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



Ubicación de las principales instalaciones de ensayo de la PSA

En la actualidad, las principales instalaciones de ensayos disponibles en la PSA son [SolarPACES, 1996]:

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

- El lazo de ensayos DISS de 1,3 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 cilindroparabólicos.
- Una instalación con 6 sistemas disco-Stirling denominada DISTAL.
- Un horno solar de 60 kWt para procesos de tratamiento térmico de materiales.
- Una instalación múltiple para aplicaciones de destoxificación solar, compuesta de un lazo de colectores cilindroparabólicos con seguimiento en dos ejes y tres lazos de fotorreactores tipo CPC, para la realización de diferentes tipos de ensayos.
- La instalación SOLFIN (Solar Fine Chemicals Synthesis) para la síntesis de productos de química fina,
- El Laboratorio de Ensayo Energético de Componentes de la Edificación (LECE).
- Una estación meteorológica.

Instalaciones de Receptor Central: CESA-1 y CRS

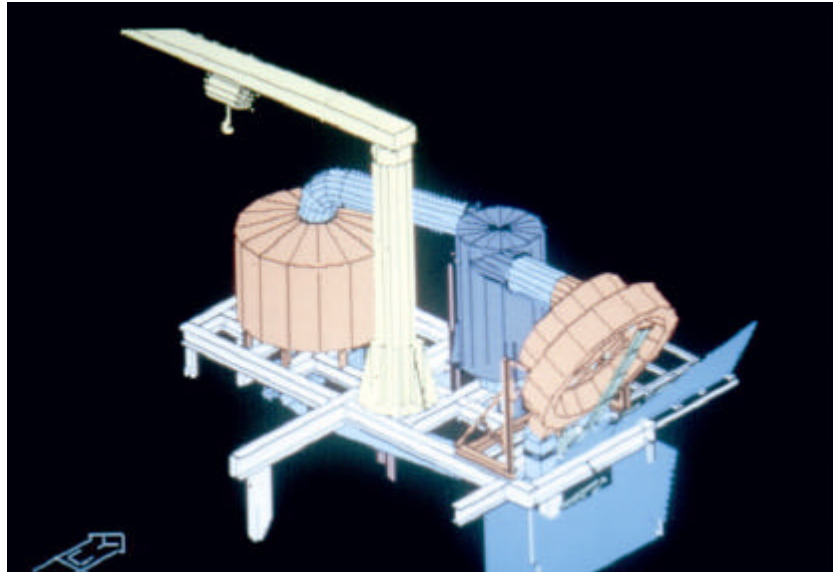
La instalación CESA-I de 7 MWt

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 y control. También es utilizada para otras aplicaciones que requieran altas concentraciones fotónicas sobre superficies relativamente grandes, como es el caso de procesos químicos de reformado de metano, tratamiento superficial de materiales o experimentos astrofísicos.

La instalación capta la radiación solar directa por medio de un campo de 300 helióstatos, de 39,6 m² de superficie cada uno, distribuidos en un campo norte de 16 filas con una extensión de 330 x 250 m. Los helióstatos tienen una reflectividad nominal del 92%, el error de seguimiento solar en cada eje es de 1,2 mrad y la calidad de imagen en rayo reflejado de 3 mrad. Al Norte del campo de helióstatos se ubican dos áreas adicionales que son utilizadas como plataforma de pruebas de nuevos prototipos de helióstatos, una situada a 380 m de la torre y la otra a 500 m de distancia. La máxima potencia térmica que proporciona el campo sobre la apertura del receptor es de 7 MW. A una irradiancia típica de diseño de 950 W/m², se obtiene un flujo pico de 3,3 MW/m². El 99% de la potencia se recoge en un círculo



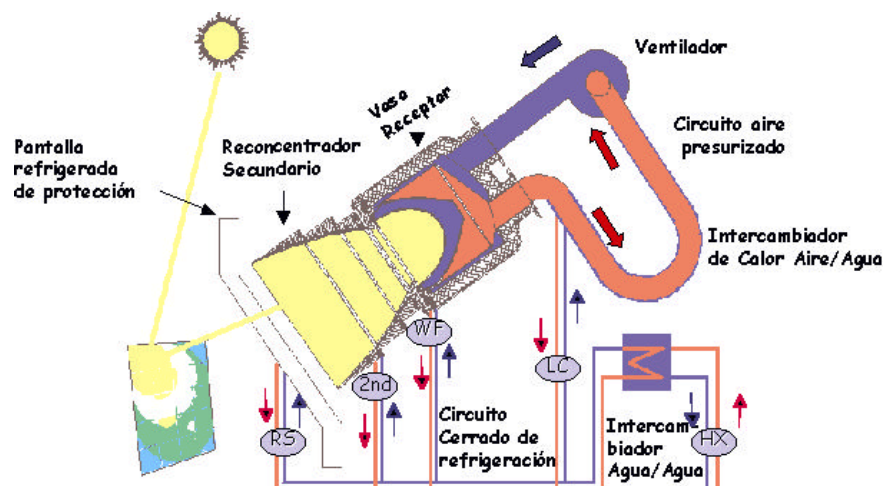
Vista aérea de la instalación CESA-I



Vista artística de la instalación TSA ubicada en el nivel de 80 m de la torre CESA-I. A la derecha e inclinado se puede observar el receptor solar, en la parte central la grúa y el generador de vapor y a la izquierda el almacenamiento térmico.

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: Un horno solar para ensayo de materiales a 45 m, una cavidad con un banco calorimétrico de ensayo de receptores volumétricos presurizados REFOS a 60 m y la instalación de ensayo de receptores volumétricos atmosféricos TSA de 2,5 MW en la parte superior a 80 m. La torre se completa con una grúa en la parte superior con 5 toneladas de capacidad y un elevador montacargas con capacidad para 1.000 kg. Por último para aquellos ensayos que requieran producción de electricidad, la instalación dispone de una turbina de ciclo Rankine de doble etapa y de 1,2 MW diseñada para operar a 520°C y 100 bar de presión del vapor sobrecalentado.



Circuito de ensayos presurizado para receptores volumétricos tipo REFOS situado en la cavidad del nivel de 60 m de la torre CESA-I

Las instalaciones TSA y REFOS son bancos de ensayos calorimétricos que permiten realizar medidas de eficiencia de receptores solares, en el primer caso hasta 2,5 MW térmicos y en el segundo caso hasta 1 MW. La instalación TSA consta de un receptor con

absorbedor de malla metálica de 3,4 m de apertura que permite calentar aire a presión atmosférica hasta 700°C. El circuito de aire dispone de dos soplantes y válvulas que permite desviar alternativamente el aire frío y caliente a través de un generador de vapor y/o un sistema de almacenamiento térmico. El generador de vapor de una potencia nominal de 1,8 MW recibe el aire caliente y lo enfría hasta aproximadamente 200° C. La energía que aquí es recogida produce vapor de una presión de 45 bar y temperatura de 340°C, calidad lo suficientemente buena como para accionar la turbina de vapor. El almacenamiento de 18 toneladas consiste en un lecho de bolas cerámicas (Al_2O_3) dentro de un tanque cilíndrico aislado y alcanza una capacidad de almacenamiento de 1000 kWh. En cuanto al circuito cerrado de aire REFOS, éste consta de un ventilador y de dos tramos de conductos coaxiales que sirven como intercambiador para enfriar el aire dado que por la parte exterior circula agua conectada a un tanque de enfriamiento. La potencia absorbida por el receptor se transfiere al agua de enfriamiento, lo cual permite un método calorimétrico de evaluación de la potencia solar absorbida. Un sistema de adquisición de datos registra, cada veinte segundos, los valores de temperaturas, caudales, presiones, etc.

La instalación SSPS-CRS de 2,7 MW_t

La planta SSPS-CRS fue inaugurada como parte del proyecto SSPS (Small Solar Power Systems) de la Agencia Internacional de la Energía en septiembre de 1981. Originalmente era una planta de demostración para producción de electricidad y utilizaba un receptor refrigerado por sodio líquido que era además utilizado como medio de almacenamiento térmico. Actualmente, al igual que la planta CESA-I, es una instalación de ensayos dedicada fundamentalmente al ensayo de pequeños receptores solares en el rango de 200-350 kW de potencia térmica. El campo de helióstatos está formado por 91 unidades de primera generación de 39,3 m² de superficie cada una. Existe un segundo campo con 20 helióstatos de 52 m² y 65 m² en la zona norte controlado por radio que puede también ser utilizado como apoyo. La reflectividad nominal promedio del campo es del 87%, el error de seguimiento solar es de 1,2 mrad por eje y la calidad óptica en rayo reflejado es de 3 mrad. En condiciones típicas de irradiancia de 950 W/m², la potencia térmica total del campo son 2,7 MW y se obtiene un flujo pico de 2,5 MW/m². El 99% de la potencia se recoge en un círculo con diámetro de 2,5 m y el 90% de la misma en un círculo de 1,8 m.



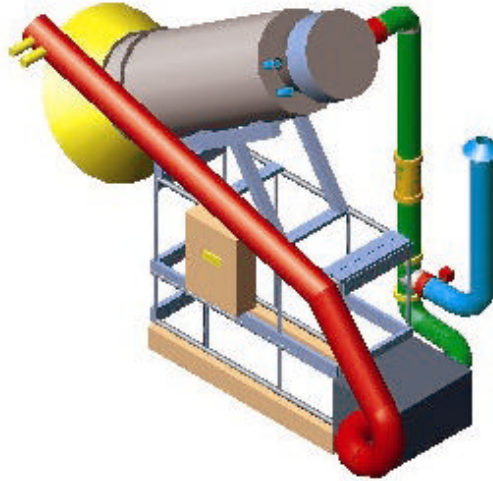
**Un heliostato del campo CRS con vista
reflejada de la torre**

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 ensayo de nuevos receptores para aplicaciones químicas. La segunda se encuentra en la parte superior, a 43 m de altura, y alberga un recinto cerrado con puente grúa y un banco de ensayos calorimétrico para la evaluación de pequeños receptores volumétricos a presión atmosférica.

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

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

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



Esquema de banco de ensayos de receptores volumétricos en la torre CRS y el correspondiente circuito de aire.

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

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

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

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

El Lazo de ensayo DISS

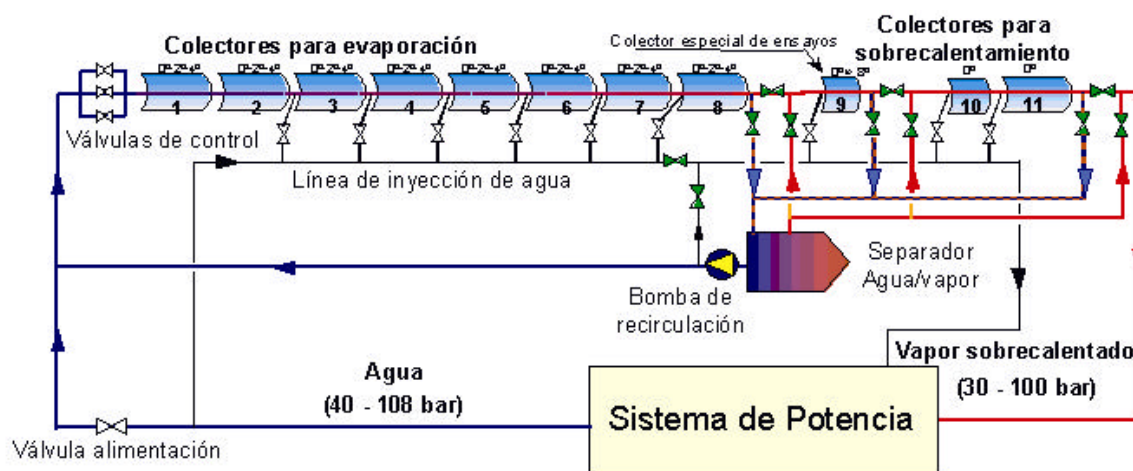
Esta instalación fue montada y puesta en funcionamiento en el año 1998, con el fin de llevar a cabo experimentos relacionados con la generación directa de vapor a alta presión y temperatura (100 bar/400°C) en los tubos absorbentes de colectores cilíndro-parabólicos. El lazo DISS es la única instalación existente actualmente en el mundo para el estudio bajo condiciones solares reales de todos aquellos procesos en los que se genere un flujo bifásico (agua/vapor) en colectores cilíndro-parabólicos. Resulta muy apropiada no solo para el estudio y desarrollo de esquemas de control para campos solares que funcionan con generación directa de vapor, sino también para el estudio y optimización de los procedimientos de operación que deben implementarse en este tipo de campos solares.

El lazo DISS consta de dos subsistemas: el Campo Solar con colectores cilíndro-parabólicos, y el Sistema de Potencia. En el campo solar, el agua de alimentación es precalentada, evaporada y convertida en vapor sobrecalentado conforme circula por los tubos absorbentes de una fila de colectores cilíndro-parabólicos de 550 m de longitud y 2.750 m² de superficie de captación solar. La instalación puede producir 0,8 Kg/s de vapor a 100 bar y 370°C.

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

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

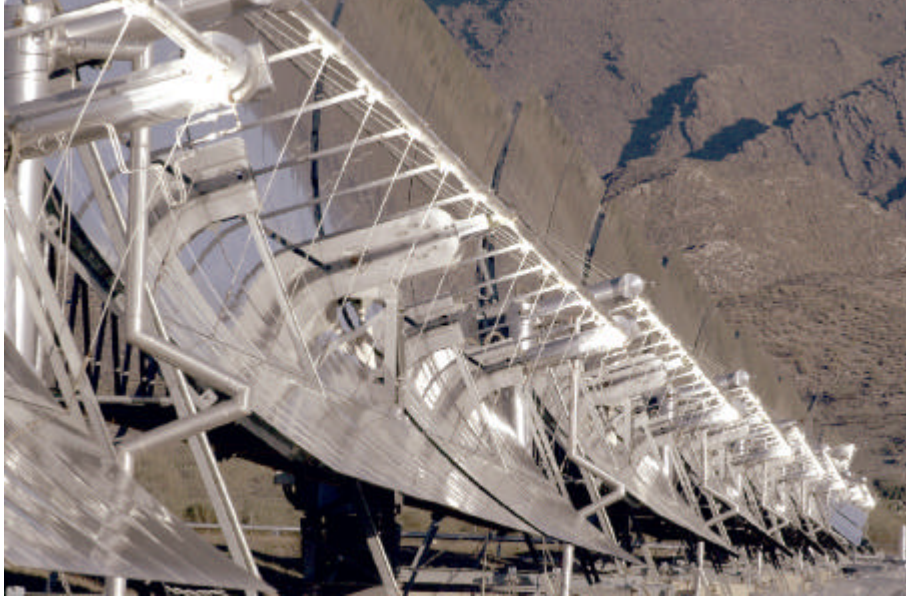
La figura adjunta muestra el esquema simplificado del lazo DISS. En ella se observa que el campo solar consta de una fila compuesta por 11 colectores solares cilíndro-parabólicos cuyo eje de rotación está orientado en la dirección norte-sur. Los colectores están compuestos por módulos reflectantes cilíndro-parabólicos de 12 m de largo y 5,7 m de ancho. El campo solar consta de dos partes: la sección de evaporación, y la sección de sobrecalentamiento. Al final de la sección de evaporación existe una bomba de recirculación y un separador agua/vapor que aumentan la flexibilidad operativa del sistema.



Esquema simplificado del lazo DISS existente en la PSA

El Sistema de potencia consta de separadores de agua/vapor, condensadores, sistema de dosificación química, precalentadores, desgasificador y bombas de agua.

Una de las características más importantes del lazo DISS es la posibilidad de medir el gradiente térmico en secciones transversales de los tubos absorbentes de los colectores solares.



Vista del campo solar del lazo DISS en funcionamiento

El lazo de ensayo LS-3 (HTF)

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

La Instalación consta de un circuito de aceite térmico conectado, en lazo cerrado, a un colector solar formado por 4 módulos cilindroparabólicos del tipo LS-3, de 12 m de longitud y 5,7 m de anchura, con una superficie total de captación solar de 272,5 m². El aceite térmico usado en esta instalación (Syltherm 800) tiene una temperatura máxima de trabajo de 400°C, y un punto de congelación de -40°C. El colector solar tiene su eje de rotación orientado en dirección este-oeste, lo que permite aumentar el número de horas al año en las que el ángulo de incidencia de la radiación solar es menor de 5°.

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

- Tanque de expansión para el aceite, de 1m³ de capacidad, con sistema automático de inertización mediante nitrógeno.
- Tanque de drenaje del circuito de aceite
- Enfriador de aceite mediante flujo de aire, con un poder de enfriamiento máximo de 225 kW. Dispone de un variador de velocidad para controlar el caudal de aire.
- Bomba centrífuga de aceite, con un caudal de 0 – 2,8 litros por segundo
- Calentador de aceite, de 40 kW, 3 x 380 V.

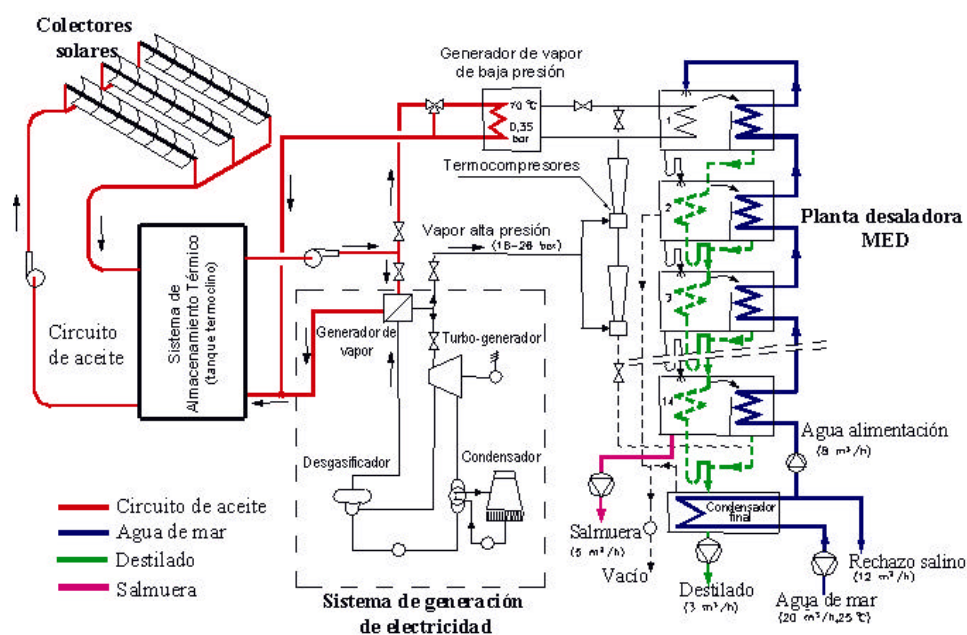


Vista general del lazo LS-3

Planta SSPS-DCS con sistema de desalación solar

Esta instalación posee una potencia nominal de $1,2 \text{ MW}_t$, y consta de cuatro subsistemas principales, tal y como se muestra en el esquema adjunto:

- Un campo solar compuesto por 40 colectores cilíndroparabólicos del modelo ACUREX 3001, agrupados en 10 filas paralelas, con 4 colectores conectados en serie dentro de cada fila. La superficie total de captación solar de este campo es de 2.672 m^2 , y el eje de giro de los colectores está orientado en la dirección este-oeste. El fluido utilizado por este campo de colectores es Santotherm 55, que posee una temperatura máxima de trabajo de 300°C . Los tubos absorbentes de los colectores solares son sin vacío y poseen un recubrimiento selectivo a base de cromo negro. Este campo solar tiene un rendimiento global del 50%, con una potencia pico de $1,3 \text{ MW}_t$ para una radiación solar directa de 950 W/m^2 . El suministro medio diario de energía térmica es de $6,5 \text{ MW}_t$.



Esquema general de la planta SSPS-DCS

- Un sistema de almacenamiento térmico consistente en un tanque termoclino de aceite, con un volumen interior de 140 m y una capacidad de almacenamiento de 5 MWh_t, para temperaturas de carga / descarga de 295/25°C. Está dotado de sistema antiincendios automático, válvulas automáticas de venteo y sistema para condensado de volátiles. Un enfriador de aceite refrigerado por agua permite el enfriamiento rápido del aceite para poder realizar ensayos de transitorios.
- Un sistema de generación de electricidad de 500 kWe, mediante un ciclo Rankine de agua / vapor. Este sistema está compuesto por: generador de vapor alimentado por el aceite caliente que suministra el campo solar y/o el tanque de almacenamiento; desgasificador; turbina de vapor; generador eléctrico y circuito de refrigeración mediante torres evaporativas.
- La planta de desalación MED consiste en una planta de destilación multiefecto con 14 etapas, denominada SOL-14, la cual está conectada al sistema de almacenamiento térmico descrito anteriormente. Para una producción nominal de 3 m³/h de destilado, el consumo de la planta es de 190 kWt, con un factor de eficiencia (número de kg de destilado producidos por cada 2.300 kJ de energía consumida) mayor de 9. La concentración salina del destilado se sitúa en torno a 50 ppm. El gradiente nominal de temperatura entre la primera y última etapas es de 40°C, con una temperatura de operación de 70°C en la primera etapa. El sistema de vacío está compuesto por dos hidroeyectores alimentados por agua de mar a 3 bar. Dicho sistema de vacío se utiliza para evacuar el aire de la unidad al comienzo de la operación y para compensar las pequeñas cantidades de aire y gases liberadas con el agua de alimentación, así como las pequeñas pérdidas que puedan producirse en las diferentes conexiones.

Capacidad:	3 m ³ /hora
Número de efectos:	14
Agua de entrada:	Agua de mar (35.000 ppm)
Producto:	Destilado (≤50 ppm)
Factor de Recuperación:	38%
Caudal agua alimentación:	8 m ³ /hora
Consumo térmico (FR):	63 kWh/m ³ (>9)
Consumo eléctrico:	3 kWh/m ³
Potencia campo solar:	1,2 MWp
Rendimiento campo solar:	50%
Superficie de colectores:	276 m ²
Tipo de colectores:	ACUREX 3001 (CCP)
Almacenamiento:	5 MWh (Therminol 55)
Máxima temp. del aceite:	300°C



Especificaciones técnicas de la planta de Desalación Solar SOL-14 de la PSA y vista aérea de la misma: campo Acurex, tanque de almacenamiento térmico (arriba izquierda) y planta MED (arriba derecha)

También se encuentra disponible en la instalación una bomba de absorción de doble efecto que representa el primer prototipo real de un dispositivo de estas características y para esta aplicación. El acoplamiento de dicha bomba permite aumentar el valor del factor de eficiencia de la planta MED hasta un valor de 20 gracias a la recuperación de las pérdidas de calor que se producen en el condensador de la planta cuando ésta opera sin el acoplamiento de la citada bomba.

Sistemas Disco-Stirling: DISTAL y EURODISH

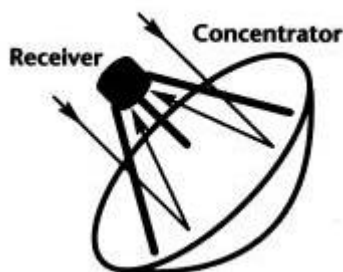
Fundamentos

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.



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

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

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

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

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

DISTAL I



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

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.

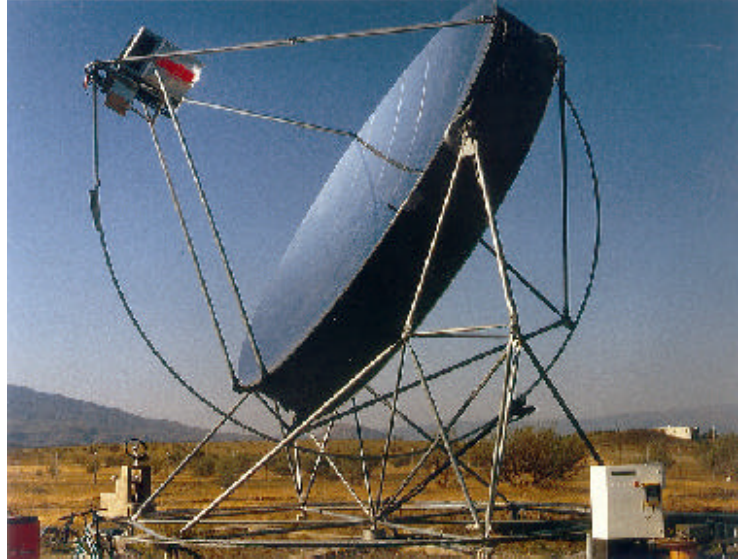
Dos unidades DISTAL I fueron desmanteladas en el año 2000 para ser reemplazadas por unidades EuroDISH de tercera generación.

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.



Unidad DISTAL II

El motor Stirling también ha evolucionado, tratándose ahora del modelo SOLO V161, de 10 kW_e.

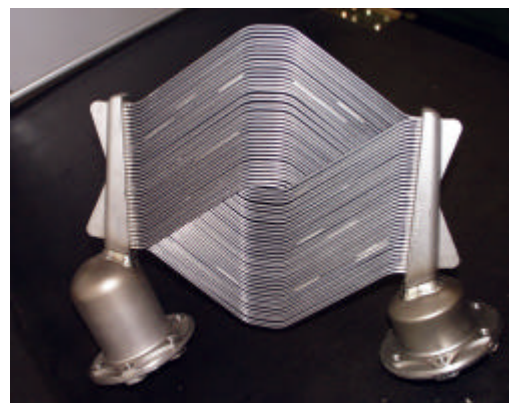
El sistema de seguimiento es ahora del tipo acimut-elevación, con lo que se consigue la operación automática en modo orto-ocaso.

EuroDISH

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

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

- Reducción del precio de los componentes mediante la identificación de elementos de uso estándar en la industria.
- Desarrollo de un nuevo sistema de fabricación para el disco concentrador. Se ha abandonado la tecnología de membrana tensionada y se ha utilizado un sistema de moldes y material 'composite'.
- Mejora del motor 'Stirling' SOLO V161, especialmente de aquellos componentes utilizados en la cavidad que recibe la energía solar concentrada.



Nuevo receptor de tubos para la cavidad absorbadora del motor Stirling

- 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.



Vista anterior y posterior de las nuevas unidades 'EuroDISH'.

El Horno Solar

DESCRIPCION GENERAL Y PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

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

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

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

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

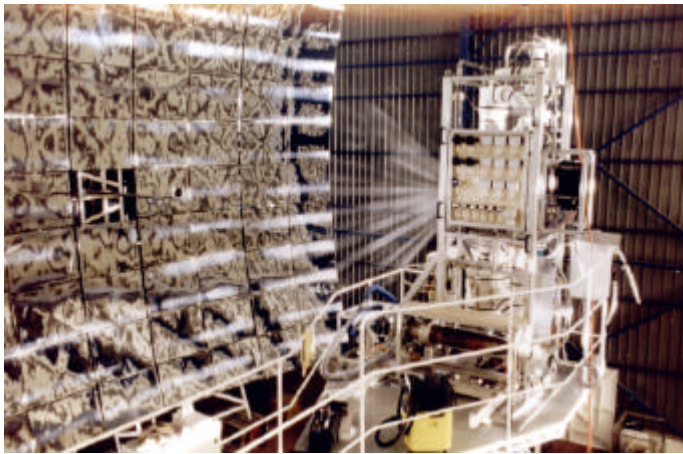
HELIÓSTATOS

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

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

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

CONCENTRADOR



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

curvatura esférica, distribuidas según cinco radios de curvatura distintos según su distancia al foco.

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

Está compuesto por 89 facetas esféricas con un total de 98,5 m² de superficie y un 92% de reflectividad. Su distancia focal es de 7,45 m.

La superficie parabólica se consigue con el uso de facetas de

ATENUADOR



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

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

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

MESA DE ENSAYOS

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

DISTRIBUCION DE LA DENSIDAD DE FLUJO EN EL FOCO

La concentración y distribución de la densidad de flujo en el foco es el elemento que caracteriza a un horno solar. Esta distribución suele tener geometría gaussiana y para su caracterización se emplea una cámara CCD conectada a un procesador de imágenes, y un blanco lambertiano.

Las características del foco para el 100% de apertura y una radiación solar de 1000 W/m^2 son: Pico de flujo: 3000 kW/m^2 , potencia total: 58 kW, y diámetro del foco: 23 cm [Neumann, 1994].

Instalaciones de Química Solar

Instalaciones DETOX / SOLFIN para aplicaciones de Fotoquímica Solar

Las primeras plantas piloto con reactores para descontaminación solar fueron desarrollados a principios de los 90 en la Plataforma Solar de Almería. La configuración actual de la planta piloto para fotoquímica basada en colectores cilindro-parabólicos está compuesta por 4 colectores solares tipo Helioman con seguimiento solar en dos ejes y superficie total captadora de 128 m^2 . El factor de concentración que se alcanza en ellos es de 10,5 soles. Este colector solar consiste en una torreta sobre la cual se encuentra una estructura que soporta un total de 32 espejos en 4 parábolas paralelas totalizando un área de 32 m^2 . El caudal de trabajo puede ser variado desde 500 hasta 4000 L/h. Todas las tuberías, depósitos y accesorios son de HDPE (polietileno), material de gran resistencia a la mayoría de agentes químicos. El tubo absorbedor (vidrio borosilicatado de 56 mm de diámetro y 2 mm de espesor) tiene una longitud de 16 m por módulo, lo que totaliza 64 m lineales de reactor fotoquímico.

Posteriormente se han instalado otras plantas piloto basadas en colectores tipo CPCs (Colector Parabólico Compuesto). Estos colectores son capaces de aprovechar tanto la radiación difusa como la directa. Los reflectores CPC están hechos de aluminio anodizado. En la PSA hay instaladas 3 plantas empleando este tipo de colectores. La mayor consta de dos módulos cada uno con una superficie de 3 m^2 con una inclinación sobre la horizontal de 37° . Para la operación del sistema se dispone de un sistema de bomba-tanque-tuberías de interconexión. El volumen total del sistema es de aproximadamente 190 L y el del tubo absorbedor es de 72 L (volumen iluminado). En estos momentos se está instalando un nuevo colector de 15 m^2 que aumentará el volumen hasta 300 L. Además, se dispone de 2 prototipos gemelos para realizar experiencias en paralelo. Cada reactor está constituido por tres módulos de ocho tubos de vidrio cada uno. Los tres módulos ($3,08 \text{ m}^2$) de cada reactor están montados en una plataforma fija inclinada 37° (latitud local). El volumen total del reactor es de 40 L, de los cuales 22 L es el volumen total irradiado y el resto formado por tuberías y tanque.

También se dispone de 3 sensores de medición de radiación ultravioleta solar, uno de directa con unidad de seguimiento solar y 2 de global en posición horizontal e inclinada 37° (el mismo ángulo que los CPCs) con respecto a la superficie terrestre. Todos los datos son enviados a un ordenador que los almacena para la posterior evaluación de los resultados.

El sistema de colectores solares asociado a la instalación denominada SOLFIN (*Solar Sintesis of Fine Chemicals*) está compuesto por colectores tipo CPC de varias geometrías y tamaños que permiten estudiar los parámetros que influyen en el escalado de los procesos químicos (fundamentalmente de síntesis orgánica) que han sido previamente puestos a punto en el laboratorio. El sistema consiste básicamente en un circuito cerrado en el cual una bomba hace circular el conjunto de reactivos y disolvente por los fotoreactores instalados en el eje de los colectores, donde son irradiados. Todo el sistema puede ser termostatzado mediante agua que circula a través del tubo interno reactor (formado por dos tubos coaxiales), cuya temperatura es controlada mediante un sistema de refrigeración basado en una bomba de calor.

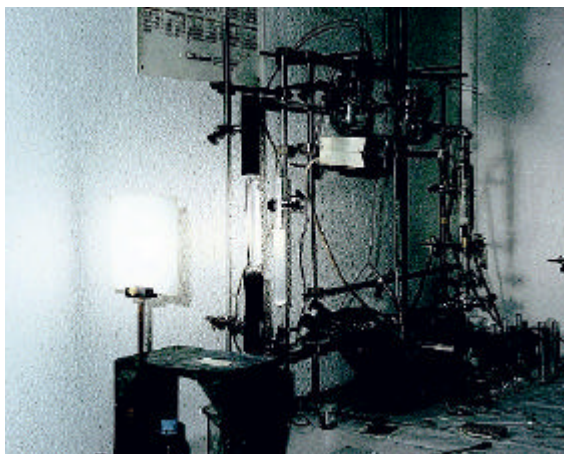
Estas instalaciones experimentales se complementan con el laboratorio de Química Solar de la PSA que contiene todos los dispositivos relacionados con un laboratorio de química convencional: mesas de trabajo, campana extractora de gases, almacén de productos químicos en pequeñas cantidades, central distribuidora de gases técnicos, sistema de tensión segura, sistemas de seguridad, bancada para balanzas de precisión, sistema de ultrapurificación de agua, baño de ultrasonidos, centrífuga, sistema de destilación a vacío, así como muchos otros sistemas de uso normal en un laboratorio de química. Además, se dispone de los siguientes equipos analíticos, todos ellos relacionados con la Química Ambiental: Cromatógrafo de Líquidos (Bomba cuaternaria con detector de diodos e inyector automático), Cromatógrafo de Gases (FID y TCD) con Sistema de Purga y Trampa (análisis de volátiles disueltos en agua), Cromatógrafo Iónico, Analizador de COT (con inyector automático), Espectrofotómetro UV-Visible, DQO, DBO. El sistema informático del laboratorio consta de 4 ordenadores Pentium, 3 de ellos conectados a los cromatógrafos. En el cuarto ordenador se encuentra el único nodo instalado en Almería para medición de UVB/UVA/PAR de la Red Andaluza (14 estaciones).

Banco de ensayos de Química Solar

Este banco de ensayos, ubicado en las instalaciones del DER (Madrid), permite realizar ensayos a escala laboratorio para determinar la viabilidad de los procesos que más tarde se realizarán en las distintas instalaciones solares previamente mencionadas. La utilización de este banco de ensayos ha sido fundamental para determinar aspectos termodinámicos y cinéticos de los procesos estudiados. Esta instalación consta de varios fotoreactores de pyrex que operan en recirculación o en batch y utiliza como fuente de luz un simulador solar con lámpara de Xenón (1.000 W). Todas las partes de este sistema se han fabricado con materiales inertes que garantizan que los ensayos se realicen en condiciones próximas a las ideales. Además, el banco de ensayos cuenta con una infraestructura analítica que garantiza el seguimiento en continuo de todas las variables



Vista general de las instalaciones para aplicaciones de Fotoquímica Solar basadas en colectores CPC



Banco de ensayos del Proyecto de Química Solar

objeto de estudio.

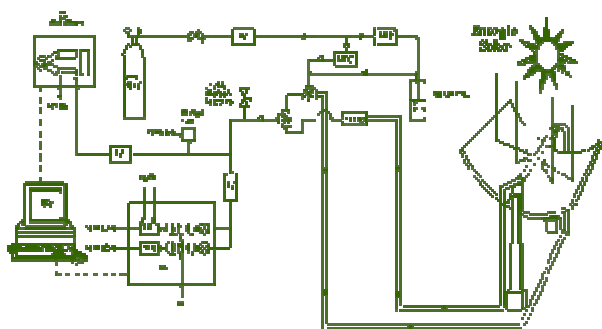
Entre los distintos procesos que se están estudiando en la actualidad a escala laboratorio destacan:

- Envejecimiento, inactivación y regeneración de los foto-catalizadores utilizados durante los procesos de oxidación fotocatalíticos [Vidal y Martín-Luengo, 2001a].
- Viabilidad del proceso de detoxificación con radiación concentrada para el sistema $\text{Fe}^{+2} - \text{H}_2\text{O}_2$ [Vidal y col., 2002].
- Estudios de reducción de CO_2 de cara a su implantación en procesos de almacenamiento químico de la

radiación solar [Vidal y col., 2001b].

Laboratorio de Detoxificación en Fase Gas

El laboratorio de Detoxificación en Fase Gaseosa, situado en las instalaciones del DER en Madrid, permite ensayar en condiciones controladas cualquier Compuesto Orgánico Volátil -VOC- susceptible de ser destruido por energía solar o lámparas UV. Para ello, se dispone de un sistema de alimentación y control de gases, lámpara de Xenón como simulador solar, y la instrumentación analítica asociada constituida básicamente por CG y CG-MS, asociado a un sistema de desorción térmica, más analizadores de NO_x , SO_2 y CO_2 en continuo. Todo este sistema permite controlar ensayos en laboratorio, así como con radiación solar real, situados en la cubierta superior del edificio inmediatamente encima del laboratorio. Parte de la instalación y un esquema de la misma puede verse a continuación.



Las reacciones activadas por la luz tienen lugar en la superficie de catalizadores conformados en estructuras con canales paralelos -monolitos-, o tubulares para ser acoplados en reactores cilindroparabólicos

Otras Instalaciones

Como instalaciones adicionales, la PSA cuenta con un área de demostración de otras tecnologías como paneles fotovoltaicos, cocinas solares y colectores de agua sanitaria, y con un Laboratorio de ensayos Energéticos para Componentes de Edificación denominado LECE. LECE forma parte de la red Europea de laboratorios PASLINK para el ensayo energético de componentes de edificación. Consta de cuatro células test con instrumentación completa para la monitorización térmica de componentes convencionales y solares pasivos del edificio. LECE hace uso de las infraestructuras y excelentes condiciones de la PSA para aplicaciones solares, si bien se encuentra integrado y gestionado directamente por el Grupo de Energía Solar en la Edificación del Departamento de Energías Renovables de CIEMAT.

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, tales como el coeficiente global de transferencia de calor, el factor de ganancia solar o los tiempos de respuesta del sistema. El conocimiento de esas propiedades sirve para mejorar el diseño de edificios con vistas a aumentar su ahorro energético sin pérdida de confort y para predecir el comportamiento térmico de los mismos.



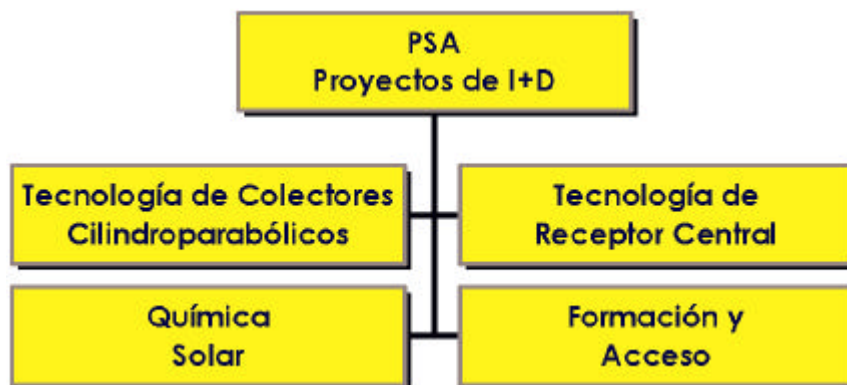
Vista de ensayo de colector solar utilizado como cerramiento inclinado

Proyectos de I+D

Introducción

Resulta indiscutible que la actividad de I+D en Centrales Eléctricas Termosolares (CET), registró durante el periodo 1999-2000 un incremento espectacular en todos los indicadores de actividad, que se ha visto consolidado durante el año 2001 [Romero, Zarza y Blanco, 2001]. A esta situación ha contribuido sobremanera el escenario de oportunidades y las expectativas que para las empresas, tanto de dentro como de fuera de nuestro país, se han generado con la esperada aprobación durante el presente año de un Real Decreto que regule las primas a la producción con sistemas CET, el desarrollo del Plan de Fomento de las Energías Renovables en España publicado en diciembre de 1999 y las sucesivas convocatorias anuales de concesión de ayudas al desarrollo tecnológico e industrial por parte del Ministerio de Ciencia y Tecnología, que se han abierto a la tecnología solar termoelectrica, primero con la iniciativa ATYCA y posteriormente con el programa PROFIT. A esto se han venido a añadir otras herramientas de apoyo esencial a las actividades de I+D en Sistemas CET como el Programa ENERGIE dentro del V Programa Marco de la CE, y las convocatorias de ayudas con fondos FEDER, tanto para infraestructuras como para proyectos de I+D.

La Plataforma Solar de Almería ha jugado un papel muy activo en todo este periodo, con una intervención decisiva en la gestación de los cuatro proyectos actualmente en marcha en España para la construcción de sendas Centrales Eléctricas Termosolares. En el caso de la Tecnología de Receptor Central, el proyecto PS10 promovido por la empresa ABENGOA de una planta de 10 MW con tecnología de receptor solar volumétrico refrigerado por aire y el proyecto Solar Tres promovido por las empresas GHERSA y SENER para la



Proyectos que configuran la actividad de I+D en la PSA

1999, 2000 y 2001 una gran parte del esfuerzo del equipo de expertos en tecnología de receptor central (TRC) de la PSA se ha centrado en prestar apoyo en todos los frentes de trabajo necesarios para que ambos proyectos de carácter único tengan una culminación feliz. A la estela de estos dos proyectos han ido germinando una serie de proyectos de carácter tecnológico que cuentan con apoyos económicos tanto nacionales como europeos para el desarrollo de componentes como helióstatos, receptores solares, almacenamiento térmico, sistemas de control, herramientas de diseño y modelización.

Con todo, la expansión en el interés industrial por la tecnología CET continúa y a comienzos del año 2001 se han gestado dos proyectos adicionales basados esta vez en la tecnología de colectores cilindroparabólicos como la propuesta EuroSEGS formulada por la empresa EHN, junto con la empresa norteamericana Duke Solar, para la construcción de una planta de 15 MW en Tudela (Navarra) o el proyecto ANDASOL, promovido por un consorcio Europeo en el que destacan Flabeg, Milenio Solar y Abengoa, para la construcción de una planta comercial de 50 MW en el término municipal de Guadix en la provincia de Granada y que está basado en colectores EuroTrough de tecnología europea ensayados en la PSA.

Otro tanto cabe reseñar con respecto a las actividades de I+D en Química Solar donde la PSA se ha convertido en el centro de gravedad de un gran número de proyectos de detoxificación solar de efluentes líquidos y gaseosos [Blanco, 2001]. La PSA ha conseguido liderar la escalación de aplicaciones y sistemas desde el laboratorio hasta plantas de demostración con radiación solar real, habiéndose culminado el desarrollo tecnológico necesario en un ambicioso proyecto Europeo denominado SOLARDETOX finalizado en el año 2000. Este proyecto de desarrollo tecnológico y transferencia de tecnología en detoxificación solar liderado por la PSA, tiene su continuación en el proyecto CADOX propuesto en el año 2001 y comenzará su andadura en el año 2002. En el campo de la aplicaciones también la PSA ha realizado un notable esfuerzo, y baste como un ejemplo introductorio el mencionar que en el año 2001 han sido aprobadas por el programa LIFE de la UE y por el MCYT las iniciativas denominadas ALBAIDA y TREN-AGRO respectivamente para la aplicación de la detoxificación solar, puesta a punto en la PSA, en una planta piloto de tratamiento integrado de residuos de envases fitosanitarios para su valorización y reciclaje. Pero además el año 2001 ha servido para formular nuevos proyectos de química solar que tendrán su comienzo formal en el año 2002 como el proyecto en colaboración con la empresa Petróleos de Venezuela y el Paul Scherrer Institut de Suiza, para la conversión de petróleo pesado en gas de síntesis mediante el uso de radiación solar concentrada, basándose en el uso de ciclos reductores de óxidos metálicos (ZnO). Por último cabe reseñar que dentro de las aplicaciones no eléctricas y motivado por la demanda social se han iniciado dos nuevos proyectos en desalación solar utilizando un sistema de multi-efecto (MED) conectado a un campo de colectores CPC.

Las actividades de I+D se ven completadas con un Proyecto de Formación y Acceso que gira fundamentalmente sobre la catalogación que la PSA tiene como Gran Instalación Científica por parte del programa IHP (Improving Human Potential) de la Comisión Europea. Gracias a dicho proyecto, un total de 60 grupos de investigación europeos tendrán acceso a las instalaciones de la PSA en el periodo 2000-2002.

Esta situación permite vislumbrar un entorno estable de trabajo, unos proyectos consolidados y unos objetivos claros, con compromisos que en algunos casos marcan un horizonte de actividad en I+D hasta el año 2006. Dentro del contexto nacional la PSA viene mantenido una estrecha colaboración con la mayoría de las empresas relacionadas con la concentración solar para aplicaciones eléctricas, térmicas y químicas y con universidades como la Universidad de Sevilla, Almería y UNED. La PSA dispone de unos recursos humanos e infraestructuras únicos en tecnología de concentración solar, que hacen que cualquier desarrollo o proyecto de planta termosolar en España cuente con la participación de CIEMAT. En el ámbito internacional, cabe reseñar la participación en las Tareas I, II y III del programa SolarPACES de la AIE, donde se intercambia información y se realizan tareas a costes compartidos con centros homólogos en EEUU, Alemania, Suiza, Australia, Rusia, Israel, Francia, etc. En la actualidad se trata de la única red de expertos en tecno-

logía y sistemas termosolares con concentración. Bajo el paraguas del V Programa Marco en su Programa de Energía y del Convenio Hispano-Alemán, se colabora intensamente con el Centro Aeroespacial Alemán (DLR) con el que se mantiene una tradicional participación en proyectos conjuntos.

Tecnología de Receptor Central

Los sistemas de torre o de tecnología de receptor central (TRC) consisten en un gran campo de helióstatos o espejos que siguen la posición del Sol en todo momento (elevación y acimut) y orientan el rayo reflejado hacia el foco colocado en la parte superior de una torre. Los órdenes de concentración solar son de 200 a 1000 y las potencias unitarias de 10 a 200 MW. Se trata de una tecnología en la que la PSA cuenta con una larga tradición investigadora ya que posee dos instalaciones absolutamente privilegiadas como son las plantas CESA-I y CRS con bancos de ensayos muy flexibles para el ensayos y validación de componentes y subsistemas.

Por los altos flujos de radiación incidente (típicamente entre 300 y 1.000 kW/m², permiten trabajar a altas temperaturas e integrarse en ciclos más eficientes de forma escalonada pasando desde ciclos Rankine con vapor de agua sobrecalentado hasta su integración en ciclos Brayton con turbinas de gas, 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.

Aunque la madurez de los sistemas TRC está avalada por el éxito alcanzado en los proyectos de demostración desarrollados durante la década de los 80 y, más recientemente, por el interés mostrado por entidades municipales, promotores de electricidad privados y empresas eléctricas tanto europeas como norteamericanas que les ha llevado a situarse en primera línea con proyectos como PHOEBUS-TSA, Solar Two, Solar Tres y PS10, el elevado coste de capital aún constituye un obstáculo hacia el pleno aprovechamiento de su potencial a nivel comercial [Romero, Zarza y Blanco, 2001]. Las primeras aplicaciones comerciales que están a punto de ver la luz, todavía presentan costes por potencia instalada de 2.800 Euro/kW y costes de la electricidad producida en el entorno de 0,18 Euro/kWh. Una reducción del coste de la tecnología resulta, por lo tanto, esencial para la extensión del número de aplicaciones comerciales y potenciales emplazamientos. Consciente de este problema, la PSA mantiene con carácter permanente una línea o proyecto de I+D en TRC centrada en el desarrollo tecnológico de componentes y sistemas con el fin de reducir costes y mejorar la eficiencia de los mismos.

El objetivo que se pretende alcanzar en esta línea de I+D es el facilitar la penetración en el mercado de los sistemas termosolares de receptor central. Este objetivo general se estructura en los siguientes objetivos particulares:

- Mejorar significativamente la rentabilidad global de los sistemas termosolares de receptor central, mediante una reducción del coste de sus componentes, especialmente de aquéllos que tienen un mayor peso en el coste total de la planta (campo de helióstatos, receptor y control), y la simplificación de la O+M asociada.
- Mejorar tanto la integración de los sistemas de receptor central en plantas híbridas, mediante el desarrollo de componentes avanzados que permitan abordar esquemas de integración más eficientes, como la adecuación de los mismos al uso en plantas solares puras con alto rendimiento.
- Facilitar el desarrollo y la consolidación de una industria propia, mediante la transferencia de tecnología, la elaboración de estudios de mercado apropiados y la definición de actuaciones tendentes a eliminar las barreras no tecnológicas que dificultan la penetración de esta tecnología.

La consecución de los objetivos anteriores se conseguirá mediante una estrategia basada en tres elementos esenciales:

- Consolidación tecnológica y reducción de costes.
- Desarrollo de componentes y conceptos de integración avanzados.
- Transferencia de tecnología y potenciación de la viabilidad.

La actividad de investigación llevada a cabo por el grupo de TRC en la PSA durante el año 2001 se ha nucleado en torno a los siguientes proyectos:

- 1) Proyecto: "SIREC: Sistemas termosolares de receptor central", ref. 1FD97-0957-C02-01. Entidad financiadora: Convocatoria de Proyectos de I+D Fondos FEDER, BOE 7-8-97. Entidades participantes: CIEMAT, IAER-Univ. Sevilla. Investigador principal Subproyecto 01: M. Romero (CIEMAT), Periodo: Octubre 1999-Diciembre 2001.
- 2) Proyecto : "SOLAIR: Advanced solar volumetric air receiver for commercial solar tower power plants"; Ref. NNE5-1999-10012 Convocatoria: 1999/C 77/13. Entidad financiadora: CEC- DG XII (Programa ENERGIE). Entidades participantes: CIEMAT, INABENSA, IBERESE (España), STC (Dinamarca), DLR (RFA) y FORTH/CEPRI (Grecia). Investigador principal: Rafael Osuna (INABENSA). Periodo: Febrero 2000/Junio 2003.
- 3) Proyecto: "REFOS-II: Volumetric pressurized solar receiver for fossil fired gas turbine and combined cycle power plants"; Ref: Convenio hispano-alemán de cooperación en I+D en la PSA. Annex Project REFOS-II. Entidades participantes: DLR-Stuttgart (Alemania) y CIEMAT (España). Investigador principal: Reiner Buck (DLR). Periodo: Enero 2000/Julio 2002.
- 4) Proyecto : "SOLGATE: Solar hybrid gas turbine electric power system"; Ref. ENK5-2000-00333. Convocatoria: EC- DG XII (Programa ENERGIE). Entidades participantes: ORMAT (Israel), INABENSA, CIEMAT (España), DLR (Alemania), Heron (Holanda) y TUMA (Suiza). Coordinador: C. Sugarmen (ORMAT). Periodo: Enero 2001/Abril 2003.
- 5) Proyecto : "PS10: 10 MW Solar Thermal Power Plant for Southern Spain"; Ref. NNE5-1999-00356. Convocatoria: 1999/C 77/13. Entidad financiadora: CEC- DG XVII (Programa ENERGIE). Entidades participantes: CIEMAT, INABENSA, AICIA (España), DLR, Fichtner y Steinmüller (RFA). Investigador principal: Rafael Osuna (INABENSA). Periodo: Enero 2000/Diciembre 2002.
- 6) Proyecto: "SOLAUT: Generación Eléctrica Termosolar mediante Módulos Autónomos"; Ref. FIT-120102-2001-7. Convocatoria PROFIT-2001, Ministerio de Ciencia y Tecnología. Entidades participantes: CIEMAT, INABENSA, IBERESE y SERLED. Periodo (Enero/Diciembre 2001).

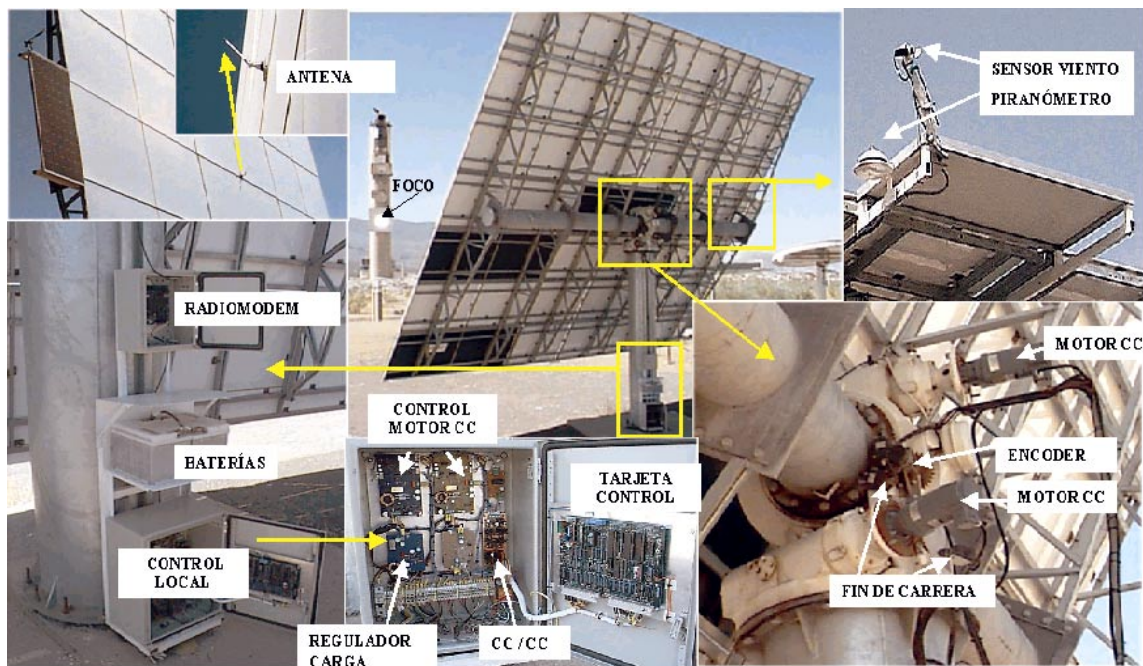
EL PROYECTO SIREC

Se trata de un ambicioso proyecto que alberga todo un conjunto de actividades de desarrollo nacional de herramientas y componentes ligados a la optimización de la tecnología de receptor central en colaboración con la Universidad de Sevilla y la empresa INABENSA. El comienzo real del proyecto tuvo lugar en el año 1999 y se articuló a través un proyecto ATYCA coordinado por INABENSA, donde CIEMAT fue subcontratado para la realización de varios trabajos, habiéndose realizado el informe final ATYCA en abril de 2000. Una vez finalizado aquel proyecto, los trabajos allí iniciados se han integrado dentro del proyecto SIREC coordinado por CIEMAT y financiado con fondos FEDER, cuyo comienzo ha tenido lugar en enero de 2000 y que ha terminado en diciembre de 2001. El programa de trabajo del proyecto incluía nuevos desarrollos de helióstatos, el desarrollo de un campo de helióstatos con comunicación por radio, nuevos conceptos de control local y global, receptores volumétricos con absorbedor metálico y cerámico, un receptor solar híbrido de vapor saturado, desarrollo de software de caracterización óptica y diseño de plantas y estudios de viabilidad. Como resultados más reseñables tenemos:

Primer campo de helióstatos autónomos:

Uno de los objetivos perseguidos en los últimos años en la PSA es la evaluación de la viabilidad técnico-económica de la utilización de unidades autónomas inteligentes. Estas unidades constan de un sistema autónomo de alimentación para el sistema de control y los actuadores de seguimiento solar, mediante el uso de paneles fotovoltaicos integrados en el helióstato, y de un sistema de comunicación sin hilos, para el gobierno del campo de helióstatos, tanto durante las operaciones de emergencia y seguridad, como durante la operación rutinaria del mismo. Dicho concepto de autonomía ha sido objeto de una patente por parte de la PSA.

En el año 2000, se ha realizado el informe final de evaluación extensa del primer helióstato autónomo conocido, que ha sido ensayado en la PSA, confirmándose la robustez y fiabilidad de la comunicaciones por radio y los bajos consumos eléctricos [García y Egea, 2000; Garcia et al., 2000]. El consumo eléctrico diario de los actuadores en operación rutinaria orto-ocaso se sitúa en unos 200 Wh, siendo suficiente un panel FV de 35 Wp y un almacenamiento en baterías de 25 Ah para la operación de un helióstato comercial de 70-90 m². El extra coste de un helióstato autónomo se estima de forma preliminar en unos 570 Euro frente a los 1.800 Euro en que se valora el coste evitado correspondiente a ca-



Composición fotográfica con los principales componentes del helióstato autónomo ensayado.

bles, zanjas, etc de un heliostato convencional, por lo que el concepto de heliostato autónomo puede resultar extraordinariamente atractivo en plantas comerciales. El desarrollo de una radio específica se ha hecho en colaboración con la Universidad de Almería y ha dado lugar a una Tesis Doctoral.

Con 20 Heliostatos MBB inoperativos desde el año 1986 y con el Radiomodem desarrollado para heliostato autónomo

Objetivos SIREC

**PONER OPERATIVOS LOS HELIÓSTATOS
CON UN NUEVO CONTROL LOCAL,
COMUNICARLOS POR RADIO Y
ENSAYAR PROTOCOLOS DE CAMPO
PARA VALIDAR EL CONCEPTO**

Para ello

- Fabricación de 25 radiomodem
- Fabricación de 25 placas de control local
- Revisión completa y reparación hel. MBB
- Control Central con driver de comunicación
- Ensayos de comunicaciones

Actividades llevadas a cabo en el año 2001 al amparo del proyecto SIREC en relación con el desarrollo del heliostato autónomo.

En el año 2001, se ha avanzado un peldaño más en el concepto de heliostato autónomo y se ha probado con éxito la comunicación por radio con un grupo de heliostatos. Para ello, se ha puesto en servicio el campo de 20 heliostatos MBB de la PSA que ha sido utilizado como banco de pruebas. Las cajas de control han sido modificadas con nuevas tarjetas de comunicaciones, en 10 de ellas se ha instalado un radiomodem comercial y en otras 10 una radio desarrollada específicamente. La conclusión más importante de este estudio es que ambos tipos de *radiomodem* pueden emplearse con éxito para llevar a cabo las comunicaciones inalámbricas de un campo de unos 1.000 heliostatos con la agilidad acostumbrada en otros soportes tales como cable o fibra óptica. Esto significa que las comunicaciones inalámbricas de un campo de unos 1.000 heliostatos deben de ser capaces de asegurar la recepción y procesamiento del estado (nivel 0) de todos los heliostatos en al menos 10 segundos. Los excelentes resultados obtenidos han movido a la PSA a plantear para los años 2002 y 2003 un objetivo aún más ambicioso como es el transformar todo el campo CRS, con un total de 92 heliostatos, en un campo autónomo controlado enteramente por radio, lo que constituirá sin duda un hito mundial.

Heliostato Sanlúcar-90:

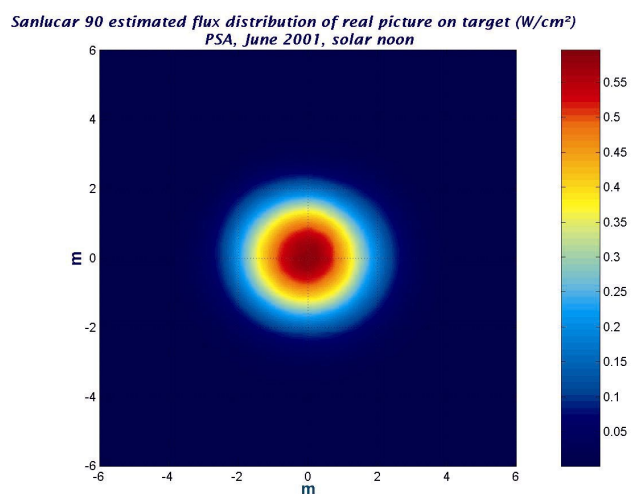
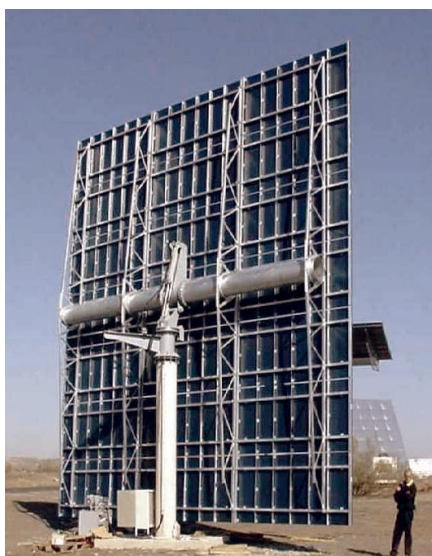
Con relación al desarrollo de heliostatos, el objetivo fundamental que pretende la PSA es promover una tecnología propia nacional y con costo moderado, de acuerdo a los siguientes criterios:

- Reducción significativa (en torno al 40%) del coste por m², incidiendo para ello en los componentes de más peso en el mismo, como son el mecanismo de accionamiento, facetas y elementos de control. Fundamentalmente la introducción de accionamientos lineales o angulares estándar y de bajo coste, la utilización de materiales reflectantes ligeros y baratos como espejos solgel, polímeros reflectantes o espejos de bajo espesor y la configuración integral control central/control local más adecuada para una reducción de costes de control.

- Estructura ligera y modular que permita una reducción del peso de la parte móvil del helióstato y de las cargas por gravedad sobre el mecanismo de accionamiento, pedestal y cimentación. La modularidad ha de permitir un fácil transporte, tanto desde la fábrica hasta el campo como en el seno del mismo, esta característica puede permitir su instalación en lugares remotos o de difícil acceso a causa de deficiencias en la red de carreteras. También facilidad de montaje y puesta en funcionamiento, al recibirse los módulos componentes probados y calibrados de fábrica o almacén. La estructura ha de buscar la máxima integración entre estructura soporte y superficie reflectante (facetas).
- Fácil instalación y canteo, de forma que el sistema pueda ser puesto en funcionamiento y ajustado por personal técnico con poca preparación específica, con medios técnicos limitados, en un tiempo reducido y, en consecuencia, con costos de instalación y puesta en marcha inferiores a los actuales. El hecho de que las unidades puedan ser autónomas, de configuración modular, y con una alta integración estructural (estructura soporte/facetas), facilitará en gran medida desde el diseño, las labores posteriores de instalación y ajuste.

La actividad de I+D en nuevos helióstatos, se ha centrado fundamentalmente en el desarrollo del helióstato Sanlúcar [Romero, 2001]. Este helióstato es el seleccionado por la empresa ABENGOA para la planta PS10 de 10 MW que está promoviendo en Sanlúcar la Mayor (Sevilla), donde sería necesario utilizar unas 1000 unidades. Durante 2001 como resultado de una fructífera colaboración entre la empresa INABENSA y CIEMAT, se han construido e instalado dos prototipos en la PSA, uno con actuador sinfín/corona y otro con actuador hidráulico. El helióstato Sanlúcar utiliza una tecnología madura de vidrio-metal que adopta soluciones estructurales, facetas y control local previamente probados en los prototipos de helióstatos GM-100 y COLÓN. La estructura es especialmente ligera con facetas que pesan menos de 14 kg/m². Los espejos son fijados al bastidor metálico mediante el uso de varillas pegadas al vidrio con una silicona neutra. Cabe destacar también el nuevo procedimiento de canteo utilizado que incorpora una metodología para la corrección de la deformación de la superficie reflectante a posiciones típicas de seguimiento solar.

El helióstato está formado por 21 facetas con 4,33 m² de superficie cada una. Las dimensiones externas son 9,57 m de altura x 9,67 m de ancho. La superficie reflectante neta es de 91 m² y está soportada sobre cuatro celosías, un brazo horizontal y un pedestal de hormigón. El peso total sin cimentación es de 3.500 kg y la reflectividad de los espejos es del 92%. El primero de los prototipos tiene un mecanismo de accionamiento tipo sinfín-



Vista trasera del helióstato Sanlúcar con actuador hidráulico instalado en la PSA y distribución de flujo obtenida a 380 m de distancia sobre un blanco Lambertiano de 12 x 12 m.

corona de Peerless-Winsmith y el segundo prototipo un mecanismo con brazos hidráulicos.

En la actualidad se está finalizando su caracterización óptica, mostrando los primeros resultados valores por debajo de 2,4 mrad en calidad de imagen del rayo reflejado, lo cual mejora notablemente la especificación de diseño que se situaba en 2,7 mrad. El helióstato Sanlúcar-90 constituye un hito a nivel mundial en tecnología vidrio/metal al proyectar costes por debajo de las 140 EUR/m² para una producción de mil unidades, y es, hoy por hoy, el mejor helióstato del mercado, siendo la culminación del concepto iniciado por CIEMAT hace 10 años en el helióstato GM-100 y luego mejorado en el helióstato COLÓN.

Se ha desarrollado además una tarjeta de control local específica para el helióstato Sanlúcar-90 instalado en la PSA, que supone una simplificación de bajo costo y fácil fabricación de las anteriores desarrolladas por CIEMAT, y más concretamente la GA2696A. Una novedad en la tarjeta es que está basada en el empleo de dos microcontroladores mediante el concepto Master/Slave.

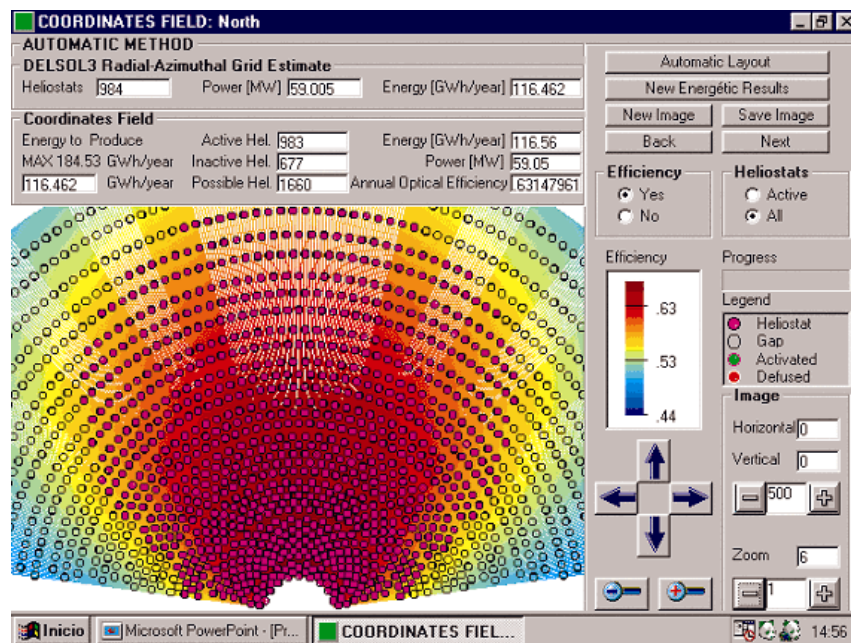
Desarrollo de herramientas informáticas:

Los códigos habitualmente utilizados para diseño y simulación de plantas termosolares con receptor central, HELIOS, ASPOC, HFLCAL, RCELL, DELSOL, MIRVAL, SOLERGY, etc., proceden en su totalidad de comienzos de los años 80, por lo que obedecen a una filosofía y estructura un tanto desfasada. En general se caracterizan por ser difíciles de utilizar, difíciles de modificar, adaptar y mantener y no resultar adecuados para la modelización dinámica. Son códigos poco amigables y en algún caso deficientemente documentados. Su estructura no es modular, por lo que no permiten abordar nuevos conceptos de plantas (tales como las basadas en receptores volumétricos o con nuevos tipos de helióstatos) ni simular plantas híbridas o de cogeneración. La mayor parte de ellos están escritos en FORTRAN 77, carecen de salidas gráficas y obedecen a una filosofía de ahorro de tiempo de computación que hace que solamente sean estudiados unos pocos días al año y sólo unos cuantos helióstatos representativos del campo.

Los años 2000 y 2001 han registrado una importante actividad por parte de la PSA en el desarrollo y mejora de herramientas informáticas, tanto para el diseño y optimización de plantas, como la simulación de comportamiento anual. El objetivo se ha centrado en desarrollar una nueva generación de códigos más modulares y estructurados, que superen las carencias presentadas por los códigos actuales y proporcionen una ventaja comparativa con respecto a posibles competidores.

Uno de los hitos más relevantes en 2001 ha sido la creación del nuevo código WinDELSOL. Se ha generado la versión 1.0 del código, en colaboración con la AICIA y la empresa SOLUCAR. WinDELSOL 1.0 ha sido validado por el Grupo de Control de Calidad de SolarPACES de la Agencia Internacional de la Energía. El código toma como base el antiguo DELSOL3 de Sandia National Laboratories, presentándolo en entorno Windows y con la adición de nuevas funcionalidades como la entrada de datos mediante formularios, la realización de "layouts" automáticos, obtención de distribución de flujo solar sobre el absorbedor y representación gráfica de parámetros ópticos, distribución del campo de helióstatos, torre y receptor solar.

Como herramientas de diseño de plantas, se han creado además en colaboración con AICIA dos módulos de software en entorno MATLAB, el primero contiene un paquete de traceado de rayos para diseño y optimización de receptores solares complejos, que permite incluir ventanas y concentradores secundarios, y el segundo un paquete de cálculo de sombras y bloqueos y optimización de campos de helióstatos para terrenos complejos. Esta aproximación permitirá migrar a entorno MATLAB en el futuro las herramientas habitualmente utilizadas para diseño y optimización óptica de campos de helióstatos y receptores solares.



Presentación del código WinDELSOL 1.0 para optimización de centrales con campos de heliostatos. En la imagen se recoge una distribución optimizada de un campo de heliostatos con mapa de eficiencias anuales.

Se ha avanzado también notablemente en 2001 en el desarrollo de los códigos Fiat_Lux y EnerTracer de caracterización y simulación óptica tridimensional de concentradores solares. Cabe resaltar, que se ha obtenido la versión stand-alone del código Fiat_Lux para caracterización de heliostatos, cuyo análisis y validación comparativa con el código HELIOS ha sido presentada en el Workshop sobre códigos de simulación organizado por SolarPACES en Septiembre de 2000.

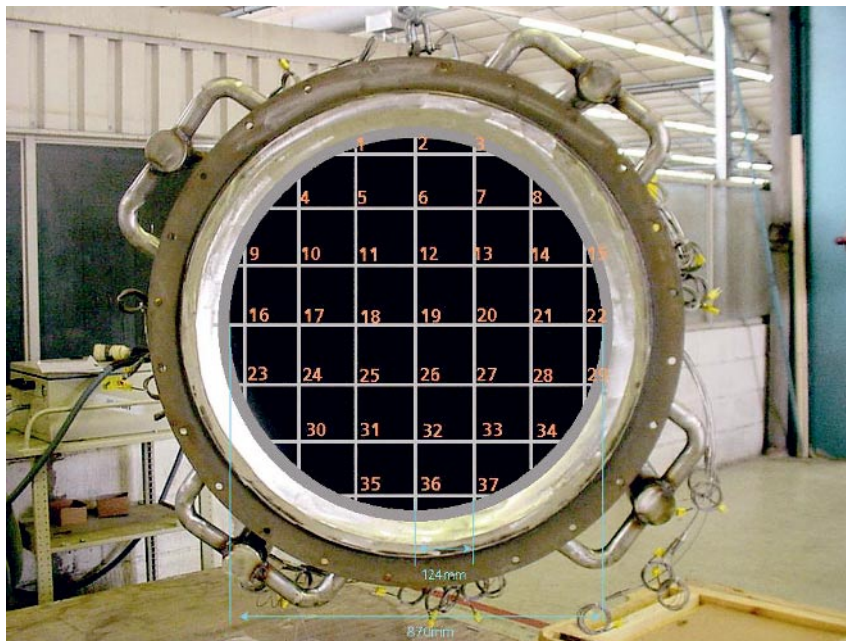
Por último y también en relación con el desarrollo de software, se ha participado activamente en el grupo de la AIE-SolarPACES encargado del desarrollo de nuevos módulos de Centrales de Torre para la librería STEC de TRNSYS, algunos de los cuales pasarán a ser incorporados a la versión internacional de STEC. Esta librería permite utilizar el conocido código TRNSYS para la simulación de la producción y comportamiento anual de un sistema solar de receptor central, tanto híbrido como con almacenamiento térmico, constituyendo una herramienta de gran interés para la realización de estudios de viabilidad y análisis energético anual de plantas.

Receptor volumétrico metálico SIREC-I:

En cuanto al I+D en receptores, el principal objetivo es el desarrollo de receptores avanzados para su utilización en plantas termosolares de producción de electricidad, como elemento esencial de centralización y transferencia de la energía captada por el campo de heliostatos. Los receptores volumétricos refrigerados por aire han demostrado su fiabilidad y facilidad de operación durante los ensayos realizados hasta ahora en la Plataforma Solar de Almería. Sin embargo, es necesario un desarrollo tecnológico adicional para poder alcanzar una reducción de costes significativa y mayores prestaciones en cuanto a rendimientos, temperaturas y flujos de operación. Por este motivo la totalidad de las actividades de la PSA durante el año 2001 se han centrado en el desarrollo y ensayo de distintos tipos de receptores volumétricos. Dentro del proyecto SIREC se acometió el diseño, construcción y ensayo de un receptor volumétrico de 200 kW como absorbedor de malla metálica denominado SIREC-I [Téllez, Marcos y Romero, 2001].

El receptor SIREC-I parte de las lecciones aprendidas en 15 años de ensayo y evaluación sobre receptores volumétricos abiertos en la PSA, habiéndose elegido como opción apropiada para plantas tipo Phoebus con ciclo Rankine de vapor sobrecalentado, un

absorbente de malla de hilo metálico con el que puede suministrarse, como condiciones normales, aire a 850°C a la salida del absorbente.



Vista frontal del receptor SIREC-1 con esquema de localización de termopares en parte trasera.

El receptor desarrollado consiste de un absorbente de mallas metálicas y un sistema de recirculación. El absorbente se ha dispuesto como superposición de mallas sujetadas por anillos circulares mediante tornillos, lo que facilita la reposición de las mismas. La apertura del absorbente es circular con 0,9 m de diámetro y un espesor de 15 mm. Para el diseño del absorbente se ha desarrollado un modelo informatizado que permite la selección más favorable de diámetro del hilo, separación entre hilos y número de mallas o capas. La utilización de dicho modelo junto a consideraciones de coste de material, ha conducido a la elección de una malla de 0,2 mm diámetro de hilo con 0,72 mm de separación entre hilos y un total de 15 mallas superpuestas. Debido a la disposición del sistema de recirculación cubriendo parte del área de apertura la superficie efectiva de apertura se redujo a (0,76 m diámetro). El prototipo de receptor se ha construido durante la primera mitad de 2001 e instalado en el dispositivo de ensayo durante agosto de 2001. Los ensayos para propósito de evaluar el comportamiento térmico del diseño se han realizado entre septiembre y octubre de 2001. La temperatura máxima del aire a la salida del absorbente durante los ensayos alcanzó 973°C, aunque como principal inconveniente se pudo observar que los mapas térmicos mostraban una gran diferencia de temperaturas entre la zona central y la exterior del área de apertura. Se realizó también un análisis de la razón de recirculación de aire en la apertura del receptor. Las medidas experimentales mostraron una total coincidencia con los valores estimados a partir del código FLUENT, situándose entre el 46-49%.

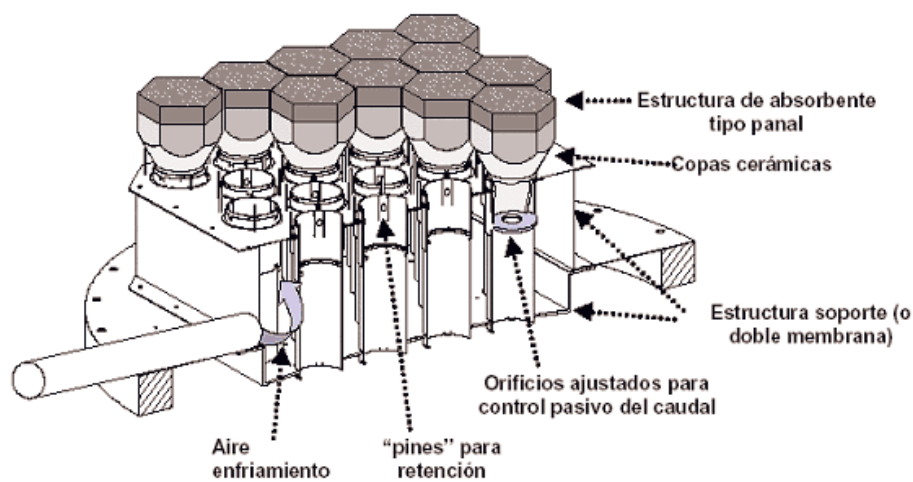
A pesar de los gradientes térmicos observados, la experiencia operacional ha servido para validar las prestaciones de la aleación metálica elegida para el absorbente y ha demostrado la viabilidad del concepto de receptor SIREC-I para proporcionar aire a 850°C en condiciones de trabajo nominales. Por este motivo se ha iniciado en el año 2002 el diseño y construcción de un segundo prototipo mejorado.

EL PROYECTO SOLAIR

El proyecto HitRec (High Temperature Receiver), y su continuación en el proyecto SOLAIR, tienen por objeto el conseguir un receptor volumétrico de aire con absorbedor cerámico de SiC capaz de trabajar con altos flujos de radiación solar incidente y con la posibilidad de alcanzar hasta 1000°C en el aire de salida. Los receptores volumétricos son

capaces, en principio, de alcanzar altas densidades de flujo (hasta 2 MW/m^2), para calentar aire como fluido térmico. Los valores obtenidos hasta ahora están por debajo de 1 MW/m^2 . Un alto flujo de radiación daría lugar a un diseño del receptor más compacto, que redundaría en una reducción de costes. Además, la menor superficie de la apertura incidirá favorablemente en la reducción de pérdidas térmicas, lo protegerá frente a las perturbaciones del viento y facilitará la mejora del sistema de retorno del aire frío. Por otra parte, la operación a altos flujos de radiación y temperaturas próximas a 1000°C va a requerir la transformación de los actuales conceptos de la malla metálica utilizada como material absorbente, a materiales cerámicos basados en el concepto de matrices monolíticas. La línea de investigación canalizada a través del proyecto SOLAIR postula a los receptores de matriz cerámica para la segunda generación de plantas trabajando a muy altas temperaturas [Hoffschmidt et al., 2001].

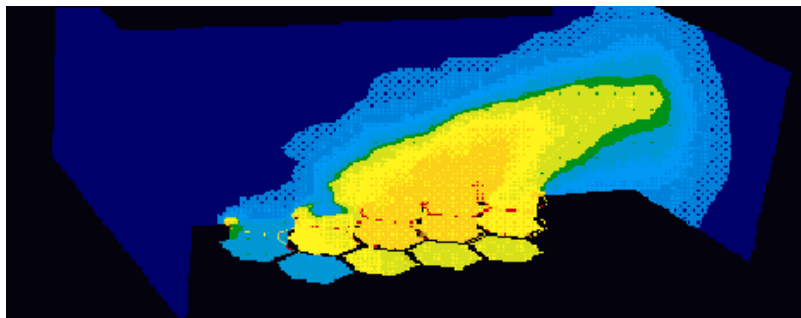
El proyecto SOLAIR es un proyecto Europeo con financiación de la CE y con participación de CIEMAT, INABENSA e IBERESE (España), STC (Dinamarca), DLR (Alemania) y FORTH/CEPRI (Grecia).



Corte transversal receptor Hitrec II

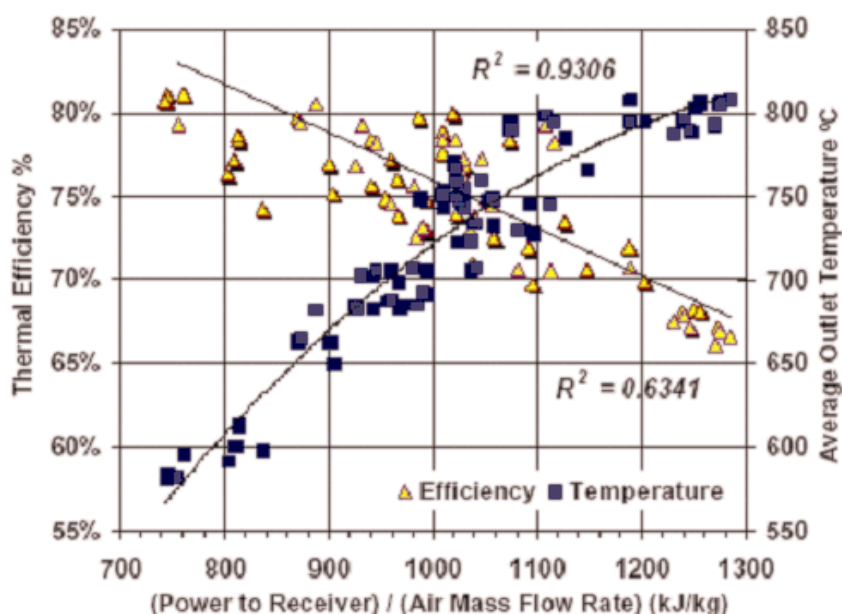
El receptor consta de un absorbente de módulos cerámicos con forma de copa, una estructura metálica soporte de dichos módulos y un sistema de retorno de aire para enfriamiento de la estructura. Se han necesitado 32 módulos absorbentes hexagonales de 140 mm en diagonal. Cada módulo consiste de una matriz absorbente y de una copa, ambos de SiC siliconizado. La porosidad de la matriz absorbente es del 49,5% y el área total de la misma es de $0,41 \text{ m}^2$. El diseño del absorbente pretende evitar inestabilidades de flujo a temperaturas de 700°C a 800°C en aire de salida a presión atmosférica.

El prototipo Hitrec II se instaló sobre la torre CRS-SSPS de la Plataforma Solar de Almería y se ensayó durante los meses de Noviembre de 2000 a Mayo de 2001, acumulando un total de 150 horas de ensayo con radiación solar concentrada. Los resultados han demostrado la resistencia termomecánica de la estructura soporte modificada. Durante los ensayos se alcanzaron flujos solares incidentes de hasta 900 kW/m^2 y temperaturas medias en aire de salida de hasta 840°C con temperaturas pico en aire de hasta 950°C . La eficiencia térmica calculada es de $(76 \pm 7)\%$ a 700°C , que son las condiciones nominales para las plantas tipo Phoebus. Otras características del receptor estimadas en la evaluación son una Razón de Retorno de Aire de un 46% y un tiempo característico de respuesta del absorbente de unos 70 segundos.



**Influencia del viento lateral en las pérdidas térmicas del receptor Hitrec-II.
Simulación 3D realizada con FLUENT**

Para el diseño y evaluación del comportamiento fluidodinámico y de la estimación de la razón de retorno de aire de los receptores Hitrec-II y SIREC-I, se ha desarrollado una metodología propia de análisis y simulación con el código FLUENT, que ha podido ser posteriormente validada experimentalmente. CIEMAT ha puesto a punto una herramienta que mejora notablemente los estudios realizados con anterioridad por otros grupos de investigación en esta materia. El código FLUENT, junto con los módulos desarrollados en entorno MATLAB para el diseño de absorbentes, hacen que CIEMAT disponga de unas herramientas y unas capacidades de diseño de receptores volumétricos de las que carecía hasta ahora.



Eficiencia térmica y temperatura media del aire de salida frente al cociente entre potencia incidente y caudal de aire para el receptor Hitrec-II.

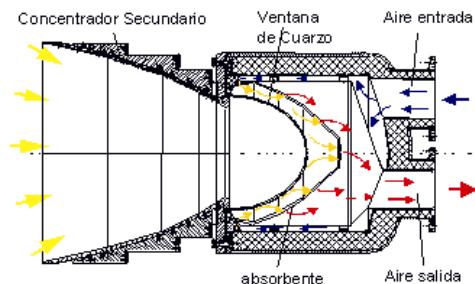
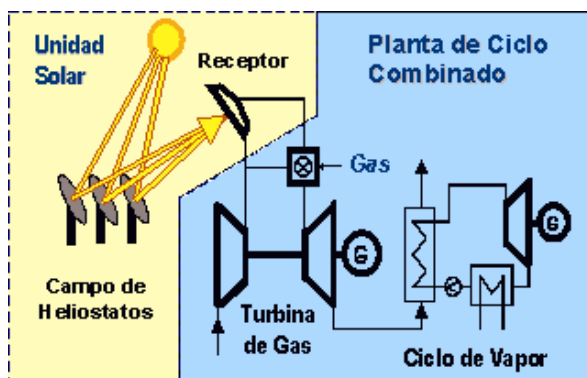
Después de los ensayos del receptor Hitrec-II, se ha finalizado la ingeniería y fabricación del prototipo de 200 kW SOLAIR que ha sido instalado en la PSA en noviembre de 2001. El prototipo utiliza el mismo concepto ensayado en Hitrec-II pero con monolitos rectangulares de 16 cm de lado. En contacto con el fabricante danés, CIEMAT ha optimizado la geometría de las copas cerámicas para mejorar la razón de recirculación de aire, utilizando nuevamente el código FLUENT para esta labor. Finalmente, hay que reseñar que se inició en septiembre de 2001 la ingeniería del prototipo SOLAIR de 3 MW, basado en un cluster con varios módulos análogos al prototipo de 200 kW, que tendrá su finalización en abril de 2002. El prototipo de 3 MW será instalado en la torre CESA-I de PSA en el año 2002

y se pretende que constituya todo un hito en tecnología de receptores volumétricos cerámicos.

LOS PROYECTOS REFOS Y SOLGATE

Los receptores volumétricos SIREC y SOLAIR tienen en común el que son receptores abiertos a la atmósfera y que por tanto producen aire caliente a presión atmosférica. En ambos casos la utilización tipo pretendida es la integración en un ciclo Rankine de vapor sobrecalentado mediante el intercambio de calor en un generador de vapor. Frente a esta opción, existe una segunda línea de investigación más a largo plazo en la que lo que se pretende es integrar el receptor solar dentro de un ciclo Brayton con turbina de gas, mediante el uso de receptores volumétricos presurizados. Esta alternativa tiene como principal objetivo la formulación de plantas solares híbridas con turbina de gas. Las plantas termosolares híbridas presentan un potencial importante de reducción de costes de hasta un 30% frente a las plantas solares puras.

Esta es la propuesta que subyace en el proyecto de desarrollo del receptor volumétrico presurizado REFOS, el cual es utilizado para calentar el aire comprimido de la turbina de gas antes de entrar en el quemador [Buck et al., 2001].



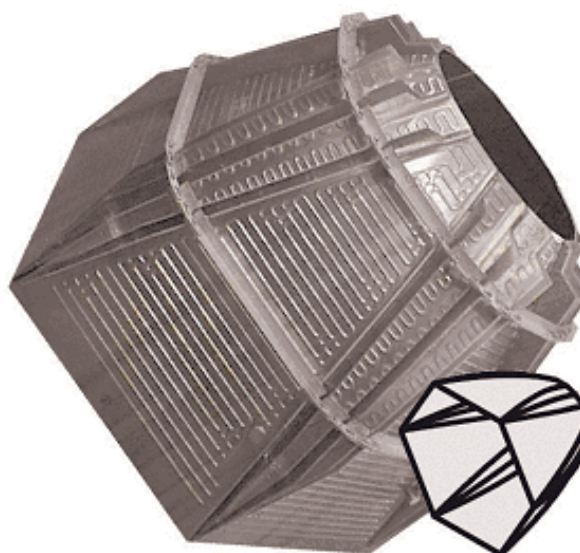
Esquema de integración de un receptor volumétrico presurizado como precalentador en un ciclo con turbina de gas, y detalle del receptor REFOS con ventana de cuarzo y concentrador secundario

El proyecto REFOS se inicia en el año 1996 promovido por el DLR-ITT de Stuttgart, siendo objeto de una prolongada colaboración con CIEMAT en la PSA. El módulo receptor se diseñó para operar presurizado a 15 bar, 800°C de temperatura de salida de aire y una absorción de potencia solar de 350 kW. El módulo se instaló en la torre CESA-I de la PSA para su ensayo y evaluación. En lugar de una turbina de gas, el receptor se operó acoplado a un circuito experimental de aire presurizado. El tiempo acumulado de operación con radiación solar a finales de 2001, de este primer módulo, fue de 500 horas, siendo el receptor volumétrico con más horas de ensayo después de TSA. Se alcanzaron y mantuvieron repetidamente las condiciones nominales de operación y el receptor en esas condiciones obtuvo rendimientos térmicos del 70%. El 9 de agosto se finalizaron los ensayos del primer módulo y comenzó la segunda fase del proyecto REFOS con la instalación de un cluster de 3 módulos. Por el momento, a finales de 2001 solo se han podido realizar 32 días de ensayo al presentarse problemas en el circuito de presurización.

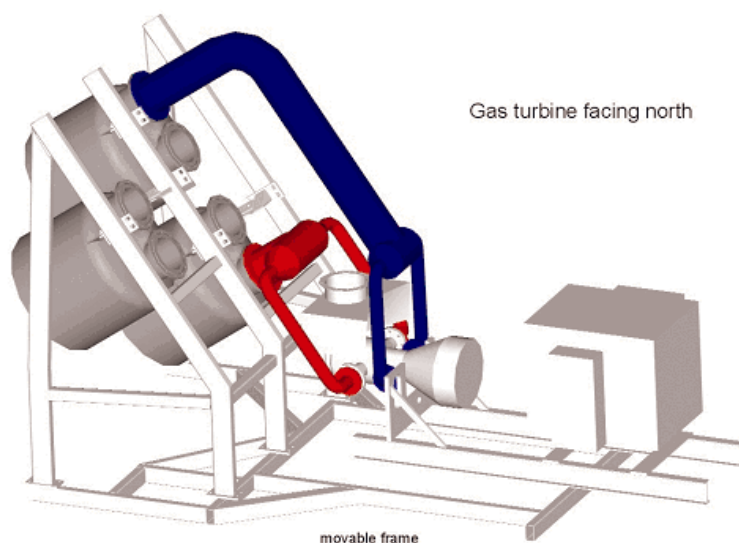
En paralelo con la realización de los ensayos se ha desarrollado un nuevo concentrador secundario. La nueva geometría permite sustituir la facetación trapezoidal múltiple del reconcentrador original por espejos curvados. Se ha mantenido la forma hexagonal en la embocadura. Se ha finalizado en abril de 2001 la evaluación del nuevo reconcentrador con rendimientos cercanos al objetivo fijado inicialmente del 90%, lo cual supera con creces el rendimiento del primer reconcentrador que estaba en el 84%. Para una nueva fase de ensayos se prevé mejorar el aislamiento térmico del vaso receptor y una oxidación previa y completa en laboratorio del absorbente metálico. Con ello se espera alcanzar eficiencias globales medidas para todo el módulo receptor de 80%. Una venta-

ja adicional del nuevo reconcentrador es su menor peso, un 75% menor que el anterior y una disminución apreciable de los costes de fabricación.

Simultáneamente al desarrollo de la fase 2 del proyecto REFOS, y como complemento natural al mismo, se ha iniciado en enero de 2001 el proyecto SOLGATE que persigue la solarización de una turbina de 280 kW y su conexión al cluster de receptores REFOS-2, así como la realización de diversos estudios de viabilidad para identificar posibles aplicaciones de la tecnología REFOS en turbinas de gas comerciales [Schwarzbözl et al., 2001]. El proyecto SOLGATE, cuenta con financiación de la CE y además de DLR y CIEMAT. Son también participantes en el mismo las empresas ORMAT (Israel), INABENSA (España), Heron (Holanda) y TUMA (Suiza). Durante el año 2001 se ha realizado la ingeniería de la nueva instalación y la modificación de la turbina por parte de la empresa ORMAT en Israel. La PSA ha preparado la infraestructura de la acometida de combustible para la turbina. Se prevé el montaje del sistema en abril de 2002.



Nuevo concentrador secundario.



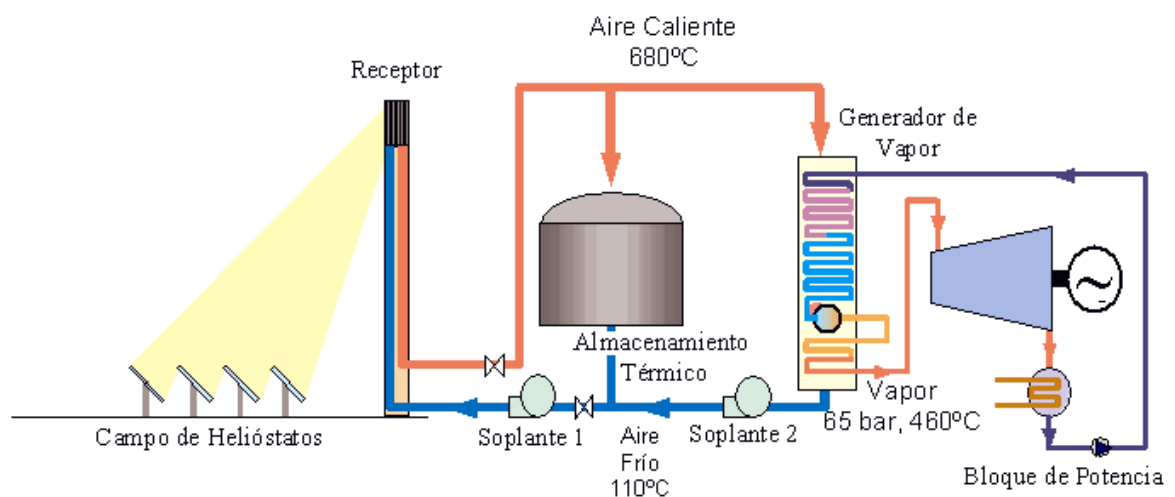
Vista artística del cluster de tres receptores REFOS conectados a la turbina solarizada que será ensayada en la PSA a partir de 2002 dentro del proyecto SOLGATE.

EL PROYECTO PS10

Junto con el desarrollo de componentes y software, el tercer grupo de actividades llevado a cabo dentro de las líneas de I+D de la PSA en tecnología de receptor central lo constituye la participación en el diseño conceptual y la ingeniería básica de proyectos de demostración y de aplicación comercial. En los años 2000 y 2001, el proyecto más relevante en cuanto a dedicación ha sido sin lugar a dudas el proyecto PS10. El objetivo fundamental de PS10 (Planta Solar 10) es el diseño, construcción y operación en régimen comercial de una CET de 10 MW, también conocida como Sanlúcar, que se instalará cerca de la localidad de Sanlúcar la Mayor, en la provincia de Sevilla, y que producirá elec-

tricidad siguiendo el conocido esquema PHOEBUS que utiliza la tecnología de receptor solar volumétrico de aire a presión atmosférica integrado en un ciclo Rankine [Romero et al., 2000b]. La planta está siendo promovida por la empresa ABENGOA a través de la sociedad de explotación Sanlúcar Solar, habiéndose recibido una subvención de 5 millones de Euros de la CE para la ejecución del proyecto. CIEMAT participa en el proyecto junto con DLR y la empresa alemana Fichtner. El coordinador es la empresa SOLUCAR.

El proyecto hace uso de tecnologías disponibles y ya suficientemente probadas como heliostatos de vidrio-metal (heliostato Sanlúcar-90), un receptor volumétrico de aire con absorbedor de malla metálica, un almacenamiento térmico aire/cerámico tipo termoclina y un generador de vapor desarrollados con anterioridad por compañías europeas dentro del proyecto TSA y que fueron ensayados a una escala de 2,5 MW (térmicos) en la Plataforma Solar de Almería en los años 1993 y 1994. En este sentido, se puede decir que el proyecto minimiza las incertidumbre tecnológicas y da prioridad a los aspectos relacionados con el escalado de la tecnología, la integración de los distintos subsistemas, la demostración de la adaptación a la demanda, reducción de costes de operación y mantenimiento y el acopio de información para la elaboración de estándares.

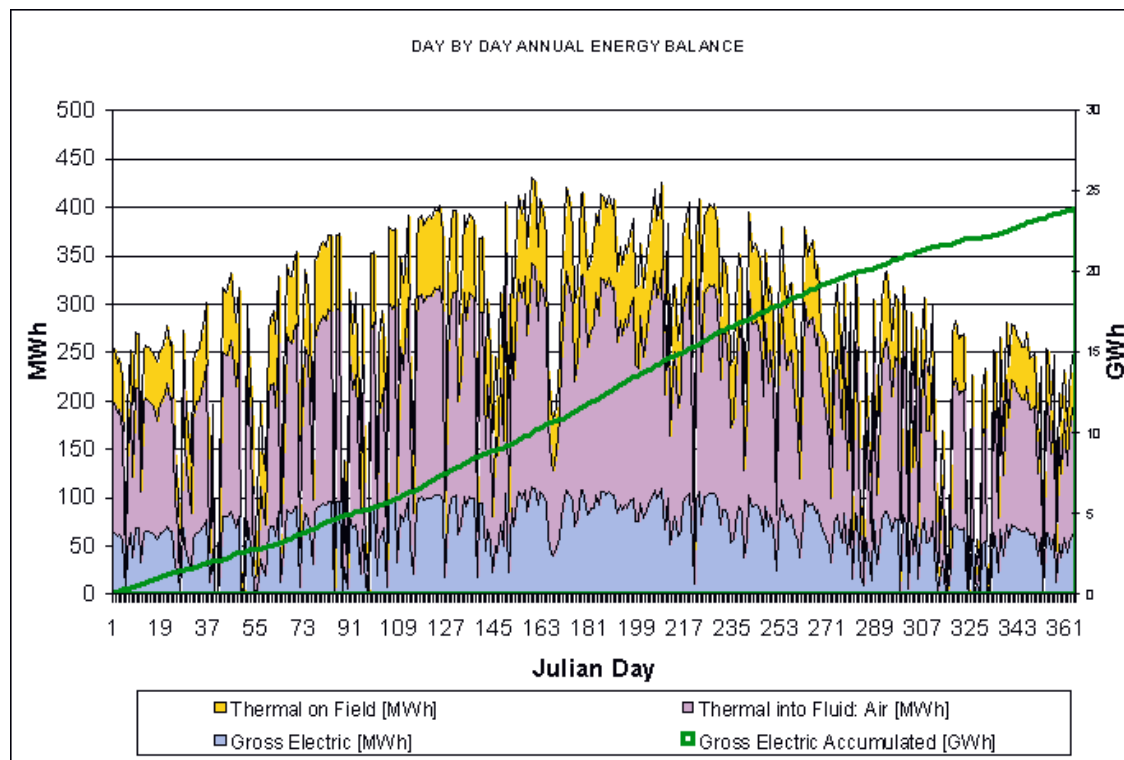


Esquema de la planta PS10 promovida por la empresa Abengoa y basada en la tecnología Phoebus con receptor volumétrico de aire aplicado a un ciclo Rankine de vapor.

El sistema utilizará un total de 981 heliostatos desarrollados por la compañía INABENSA, una torre metálica de 90 m de altura y un receptor volumétrico con una superficie de absorbedor de 173 m² desarrollado por la empresa alemana Babcock Borsig. La configuración básica de PS10 consiste en un campo de heliostatos tipo Norte, el receptor situado en parte superior de la torre, un generador y un módulo de almacenamiento térmico en la base de la misma, el bloque de potencia, dos soplantes y las correspondientes tuberías y compuertas. Las coordenadas de ubicación de los heliostatos en el campo, la altura de la torre y las dimensiones y forma del receptor han sido optimizados por la PSA y Solúcar utilizando el código WinDelsol, una versión adaptada a entorno Windows del conocido código DELSOL3 desarrollado por los Laboratorios Sandia en EEUU.

El rendimiento del sistema solar a entrada de turbina es del 54% y la eficiencia total de la conversión de solar a electricidad neta es del 13,2% en el punto de diseño. El sistema se ve penalizado por el pequeño tamaño de la turbina y su rendimiento (30%), por lo que para plantas mas grandes el rendimiento se vería sensiblemente mejorado. En el punto de diseño el receptor solar cargará unos 5 MWt en el sistema de almacenamiento. En un año tipo debe producir 22,1 GWh bruto (12% eficiencia) y 19,2 GWh neto (10,5% eficiencia), que equivaldría aproximadamente a 2000 horas operando a potencia nominal (22% Factor de Capacidad). La potencia térmica suministrada por el receptor al fluido se mueve entre 200 MWh en invierno y 325 MWh en verano. Considerando las conversiones del bloque de potencia, la electricidad producida en base diaria oscila entre 70 y 100 MWh. Pa-

ra la modelización del comportamiento anual de la planta, realizado por la PSA, se han utilizado los códigos SOLERGY y STEC-TRNSYS.



Producción anual estimada con SOLERGY para la planta PS10 en base diaria.

En 2001 se ha finalizado y realizado el informe técnico sobre la ingeniería básica de la planta y de las estrategias de operación de la misma, y se ha comenzado la ingeniería de detalle de la misma. La siguiente fase del proyecto conlleva la emisión de los pedidos de los principales subsistemas de la planta y el comienzo de la obra civil. Esta fase ha sido paralizada por el Coordinador a la espera de una clarificación definitiva de la regulación legal de la tarifa eléctrica para las centrales termosolares. En base a este problema ajeno al propio desarrollo del proyecto, se ha obtenido una prórroga de la Comisión Europea por un año y medio. El establecimiento, durante el año 2002, de un marco legal que regule la tarifa de estas plantas resulta esencial para la viabilidad del proyecto PS10 y de los demás proyectos de centrales eléctricas termosolares.

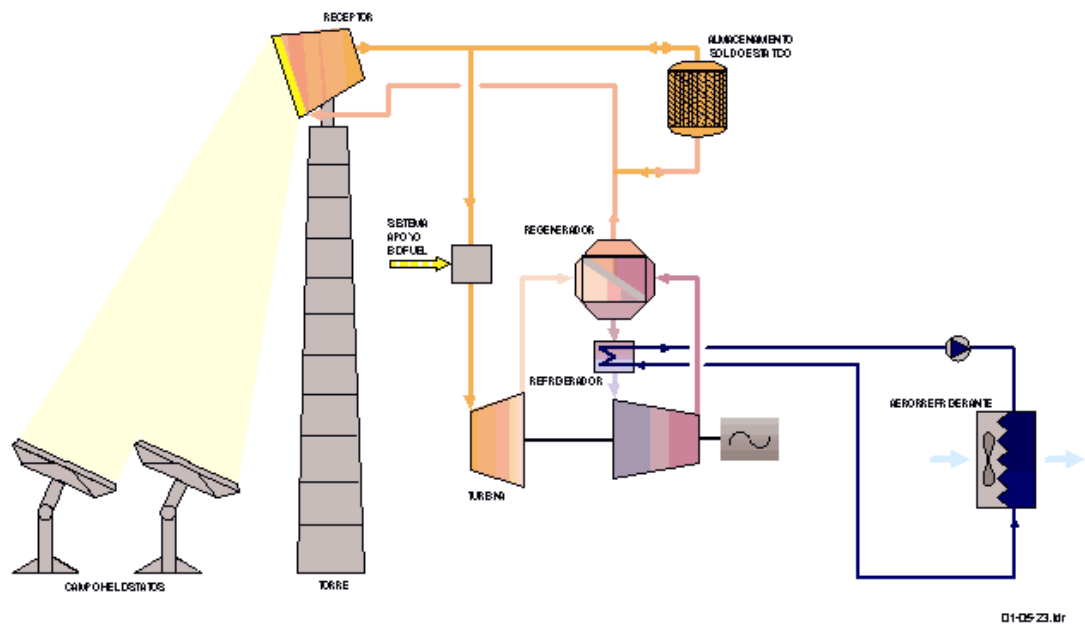
EL PROYECTO SOLAUT

Dentro de la permanente búsqueda por parte de la PSA de la integración de los sistemas de receptor central en esquemas de producción eléctrica más eficientes, se ha comenzado durante el año 2001 un nuevo proyecto denominado SOLAUT, que cuenta con financiación del Programa PROFIT del Ministerio de Ciencia y Tecnología. El objetivo principal del proyecto es diseñar y construir una instalación piloto que permita demostrar la viabilidad técnico-económica de la generación eléctrica termosolar mediante módulos autónomos con potencias unitarias en torno a 1 MWe, instalados formando grandes campos termosolares de cientos de unidades modulares de este tipo, con generación eléctrica continua mediante almacenamiento térmico.

La nueva tecnología solar termoeléctrica propuesta se basa en el receptor volumétrico atmosférico de aire con almacenamiento de elementos sólidos, pero elimina el ciclo de vapor de agua y utiliza directamente como fluido del sistema de conversión de energía el propio aire calentado en el receptor a presión atmosférica, recurriendo a un ciclo Brayton inverso regenerativo, con o sin refrigeración intermedia de la compresión, sin con-

sumo de agua para refrigeración. Ello permite aprovechar directamente el nivel térmico óptimo de concentración de la radiación para obtener altos rendimientos del ciclo en potencias del orden de 1 MW eléctrico, muy compatibles con tamaños óptimos del campo solar, que puede alcanzar rendimientos mucho más elevados que los grandes campos, con excelentes factores de ocupación de terreno y una gran capacidad de adaptación a todo tipo de terrenos y aplicaciones. El rendimiento global neto medio anual de conversión de la energía solar incidente en energía eléctrica de un módulo propuesta de 1 MWe puede llegar al 21%, superando ampliamente los valores previstos para las plantas de demostración actuales (del 10,6% al 13,2%) e incluso los valores máximos previstos para las grandes plantas comerciales de 200 MWe (15%). En condiciones óptimas el esquema propuesto podría llegar a alcanzar rendimientos pico solar-eléctrico del 30%.

Durante el año 2001 en el proyecto con financiación PROFIT se ha realizado el estudio de viabilidad y la definición del esquema de la planta, receptor solar y sistema de almacenamiento térmico.



Esquema funcional de la Planta SOLAUT

PLANTAS MODULARES APLICADAS A SISTEMAS DE COGENERACIÓN AISLADOS (MIUS)

Mientras que el proyecto SOLAUT plantea el desarrollo de pequeñas plantas modulares utilizando receptores volumétricos a presión atmosférica con un esquema sólo-solar basado en grandes capacidades de almacenamiento térmico y un ciclo Brayton inverso, una alternativa complementaria serían las plantas modulares de carácter híbrido solar-gas. También se ha llevado a cabo un estudio de viabilidad de esta segunda opción basada en el uso del concepto de receptor presurizado REFOS para optimizar su integración en aplicaciones modulares con cogeneración no industrial dentro del estudio denominado MIUS (Modular Integrated Utility Systems) que ha sido desarrollado dentro del proyecto SIREC. En este trabajo se propuso una planta termoeléctrica solar de torre de potencia que por sus reducidas dimensiones resulta ideal para la cogeneración y el abastecimiento de autoprodutores, además de constituir una solución escalonada para llegar modularmente a mayores potencias sin contar con los inconvenientes financieros asociados a las elevadas inversiones iniciales en nuevas tecnologías. Su empleo híbrido de gas natural reduce igualmente el riesgo financiero y aumenta la fiabilidad de la respuesta del sistema [Marcos et al., 2000].

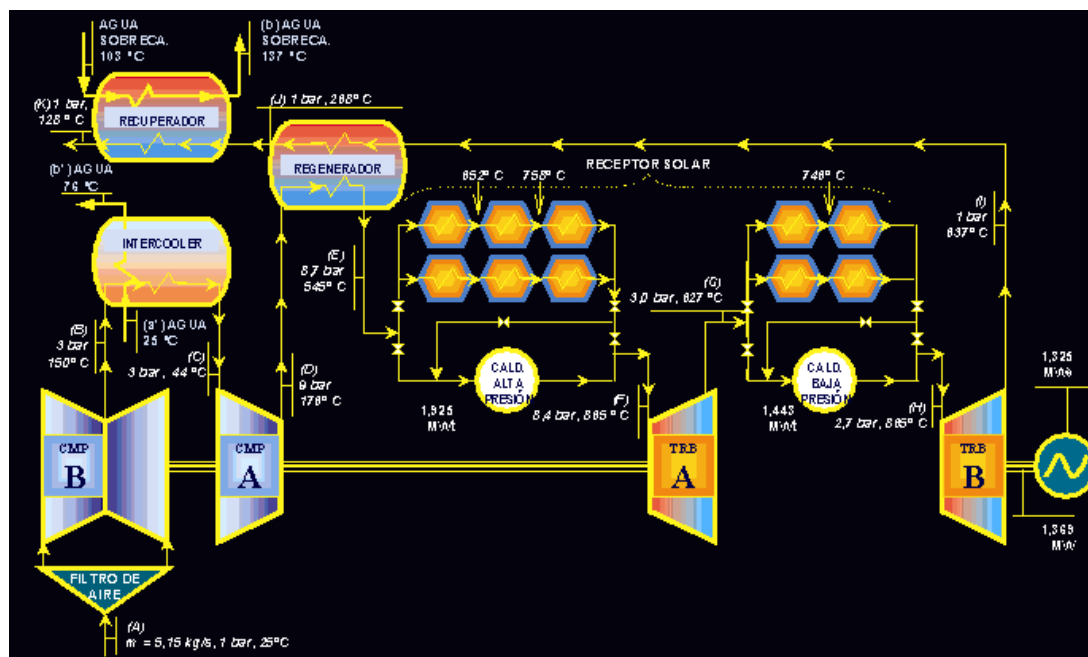
Para ser viables, los sistemas pequeños de cogeneración deben operar en el caso de las aplicaciones industriales de forma continua, lo cual es un claro inconveniente para la integración de plantas solares. Por otro lado las aplicaciones en edificios de oficinas, hospitales, centros comerciales, áreas residenciales y comunidades en general requieren típicamente un funcionamiento de unas 4.500 horas. Es por tanto posible plantear integraciones de producción distribuida en estos casos con contribuciones solares de hasta el 50% anual.

El diseño y optimización de la pequeña planta solar de torre para su aplicación a cogeneración ha proporcionado las siguientes características [Baonza et al., 2000]:

- Torre (26 m) y heliostatos (19 m²) de pequeño tamaño con el fin de reducir el impacto visual y garantizar una mejor distribución de flujo en la apertura del receptor, obteniéndose un alto rendimiento del campo.
- Utilización de aire como medio de transferencia de energía en un receptor volumétrico presurizado (3,36 MW térmicos de salida) formado por un cluster de 10 receptores REFOS.
- Utilización de una turbina de gas de 1,33 kWneto con refrigeración intermedia, recuperación de calor y alto rendimiento (39,5%) para una temperatura de trabajo relativamente baja (860 °C). Se ha seleccionado la turbina H-1 de la empresa Schelde Heron.
- Recuperación de calor residual (500 kW desde el intercooler y 850 kW desde el regenerador) para calentamiento de agua y calefacción/refrigeración.
- Operación automatizada, reduciéndose los costes de operación y mantenimiento.

En un segundo estudio MIUS se ha seleccionado como aplicación un centro comercial, ya que el 85% de su consumo de energía eléctrica y térmica es diurna, utilizando un sistema híbrido solar-gas natural, turbina de gas y aprovechamiento del calor residual para calefacción o refrigeración del mismo en función de las necesidades estacionales [Romeo et al., 2000a].

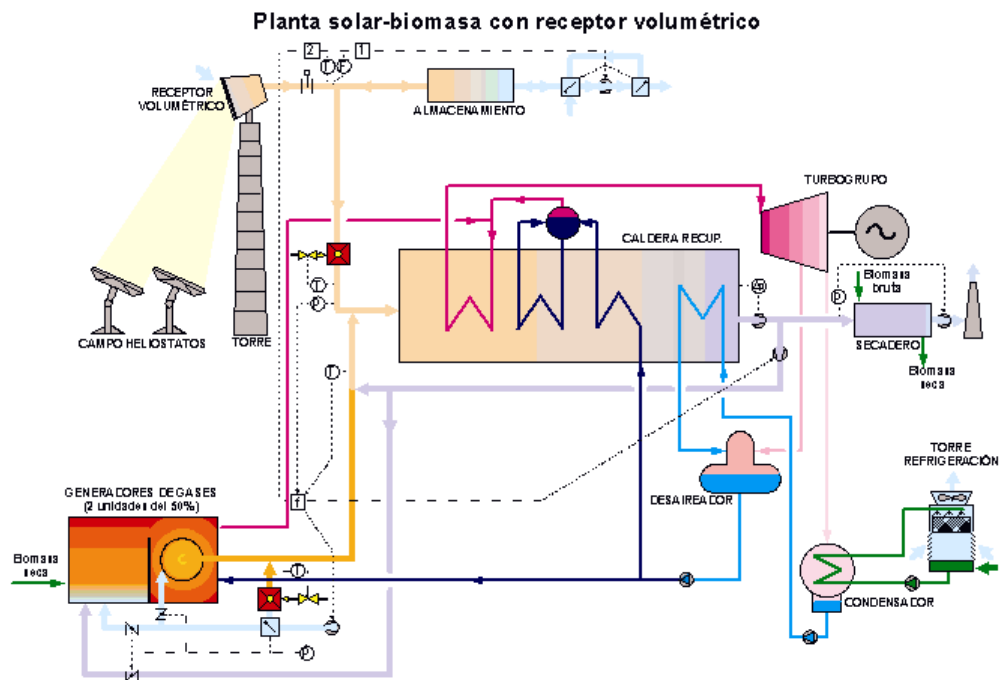
Las propuestas SOLAUT y MIUS tienen la gran ventaja, cara al promotor, de proponer aplicaciones con sentido económico y alta eficiencia energética para inversiones inferiores a los tres millones de euros.



Ejemplo de integración en un sistema MIUS de 10 módulos de receptor REFOS con incorporación a una turbina de gas El estudio se basa en la turbina H-1 desarrollada por Schelde Heron B.V. (<http://www.heron.nl>). Es una turbina de gas con refrigeración intermedia, dos etapas de combustión y recuperación de calor, con una potencia nominal de 1.400 kW.

CENTRAL TERMOELÉCTRICA MIXTA SOLAR-BIOMASA SOLBIO

El proyecto SOLBIO financiado con fondos ATYCA ha tenido por objeto un estudio de viabilidad de una central termoeléctrica mixta solar-biomasa [Romero et al., 2001]. El estudio surgió a partir de una inquietud común de CIEMAT, INABENSA, SERLED e IBERESE por conocer los esquemas de hibridación más eficientes de las Centrales Eléctricas Termosolares de Receptor Central con tecnologías de utilización de la biomasa como la combustión o la gasificación para la producción de electricidad. El estudio incluye un análisis de los recursos combinados de radiación solar y biomasa en Andalucía con selección de potenciales emplazamientos mediante el uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG).



Planta solar-biomasa con receptor volumétrico

Se han tomado como base dos sistemas para la integración con biomasa, una planta tipo PS10 con receptor volumétrico de aire y una planta tipo COLON SOLAR con receptor de vapor saturado. Para el caso de la planta de vapor saturado el mayor esfuerzo se centró en la obtención de una contribución solar significativa y en como resolver los transitorios solares dada la relativamente alta inercia del quemador de biomasa. En la opción elegida, el vapor saturado producido en el receptor solar era mezclado en el ebullición de la cámara de combustión de biomasa. Para optimizar el porcentaje de aporte solar, se seleccionó una turbina con regulación de caudal, que permitía operar a sobrecargas del 140% mediante dos válvulas de admisión. Con esta estrategia de operación se consiguió una contribución anual solar del 23%.

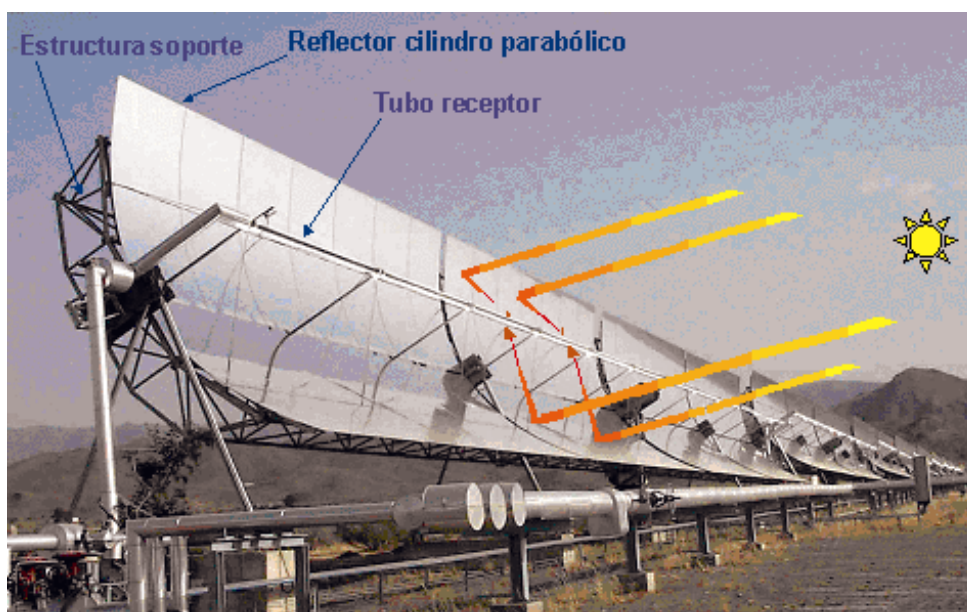
El segundo esquema de integración con receptor volumétrico mostró menores restricciones con relación a transitorios y contribución solar. El vapor se producía en este caso en una caldera de recuperación consistente en un intercambiador aire/agua. El aire caliente se obtiene tras mezclar el aire de salida del receptor solar con los gases de salida del gasificador de biomasa. El diseño incluye dos gasificadores trabajando en paralelo con un mínimo técnico de operación del 40% de la carga nominal cada uno. Dependiendo de las estrategias de operación nocturna, los porcentajes de contribución solar anual varían entre el 23-33%.

El análisis económico para una planta de 10 MW con las aportaciones solares mencionadas y producciones anuales de 76-110 GWh dio lugar a un LEC estimado de 0,08 EUR/kWh. Por este motivo el esquema SOLBIO puede ser considerado como una op-

ción interesante para España en aquellos emplazamientos donde los precios de biomasa son competitivos (0,5 céntimos de EURO por kWh), y al estar legalmente permitidas las plantas mixtas que combinen ambas energías renovables.

Tecnología de Colectores Cilindroparabólicos

Los colectores cilindroparabólicos (CCP) son captadores solares de concentración con foco lineal, que convierten la radiación solar directa en energía térmica y que resultan idóneos para trabajar dentro del rango de temperaturas 150°C-400°C. Gracias a la concentración de la radiación solar directa que incide sobre el plano de apertura del captador, se consigue de forma eficiente elevar la temperatura del fluido de trabajo hasta valores del orden de los 400°C, pudiendo alimentar procesos industriales dentro del rango de la media temperatura. Estos niveles de temperatura convierten al CCP en un captador ideal para acoplarlo a una gran diversidad de procesos industriales



Principio de funcionamiento de un colector cilindroparabólico

Un CCP está compuesto, básicamente, por un espejo cilindroparabólico que refleja la radiación solar directa concentrándola sobre un tubo receptor colocado en la línea focal de la parábola. Esta radiación concentrada provoca que el fluido que circula por el interior del tubo se caliente, transformando así la radiación solar en energía térmica en forma de calor sensible del fluido [Zarza, 2001]. La figura muestra una fotografía de un CCP e ilustra su modo de funcionamiento.

En relación con la tecnología de los colectores solares cilindroparabólicos, la PSA está desarrollando un completo programa de I+D cuyo objetivo final es el desarrollo de una nueva generación de plantas termosolares para generar electricidad con colectores solares cilindroparabólicos. Este desarrollo se basa en tres puntos principales:

- 1) Desarrollo e implementación de componentes mejorados para colectores solares cilindro-parabólicos (nuevos absorbentes y espejos, diseños estructurales más ligeros, nuevos sistemas de seguimiento solar, etc.).
- 2) Desarrollo de la tecnología de *generación directa de vapor (GDV)*, con el fin de eliminar el aceite térmico que actualmente se emplea en este tipo de plantas termosolares como medio de transferencia de calor entre el campo de colectores solares y el bloque de potencia.

- 3) Optimización global del diseño de la planta (mejora del acoplamiento entre el sistema solar y el bloque de potencia; reducción y mejora de la operación y del mantenimiento; etc.).

Dada la complejidad y el alcance de cada uno de estos tres puntos, las actividades desarrolladas por el CIEMAT en este programa de I+D están agrupadas en diversos proyectos que cuentan, cada uno de ellos, con su propio grupo de socios. El resultado final perseguido en este programa de I+D es una reducción del 26% en el coste de la electricidad producida con este tipo de plantas termosolares. Adicionalmente, pueden obtenerse una serie de interesantes subproductos, como por ejemplo: espejos selectivos para energía fotovoltaica, recubrimientos antidifusivos, vidrios coloreados para la edificación, etc.

Por último, también hay que poner de manifiesto que las mejoras relativas a los componentes de los colectores solares cilindroparabólicos y a la generación directa de vapor podrán ser aplicadas no solamente para la generación de electricidad, sino para cualquier otra aplicación industrial de la energía solar en el rango de la media temperatura (150°C – 400°C).

Las actividades desarrolladas por el CIEMAT en el año 2001 con relación a la Tecnología de Colectores Cilindroparabólicos han estado enmarcadas en tres proyectos: *Eurotrough*, *DISS-fase II*, y *Fachadas Solares*. A continuación se describen los resultados más relevantes conseguidos por la PSA dentro de estos tres proyectos en el 2001:

Proyecto Eurotrough:

El objetivo final del proyecto *Eurotrough* es desarrollar un diseño estructural europeo de colector cilindroparabólico, idóneo no solo para la generación de electricidad en plantas termosolares, sino también para alimentar energéticamente cualquier proceso industrial que presente una demanda térmica en el rango de 150°C – 400°C.

Dentro de este proyecto, en el 2001 la PSA ha mejorado tanto el hardware como el software del sistema de seguimiento solar en un eje desarrollado en 1998. Gracias a estas mejoras hemos aumentado la precisión de sistema hasta 0.04° [García, Egea, 2001]. A principios de 2001 se fabricó un prototipo del nuevo sistema de seguimiento solar y se montó en el prototipo de colector EUROTROUGH para evaluar su comportamiento. Los resultados obtenidos han sido excelentes, mostrando una fiabilidad total y una alta precisión en el posicionamiento del colector.

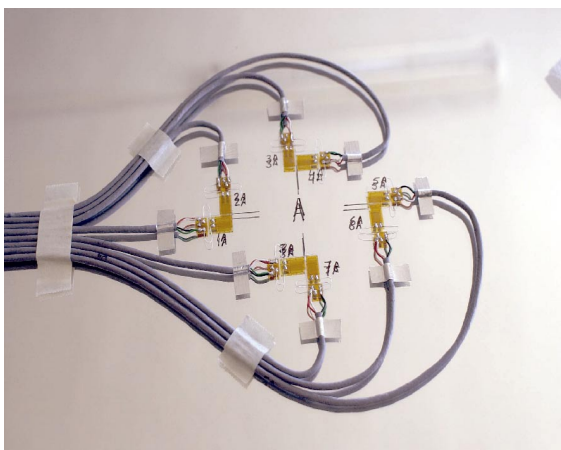
Durante el primer semestre del año, la PSA participó activamente en el montaje, y puesta en marcha del primer prototipo de colector EUROTROUGH. Dicho prototipo fue conectado al circuito de aceite del lazo de ensayos LS-3 de la PSA, y ha sido evaluado durante el segundo semestre del año. La figura a continuación muestra una vista del colector EUROTROUGH instalado en la PSA.



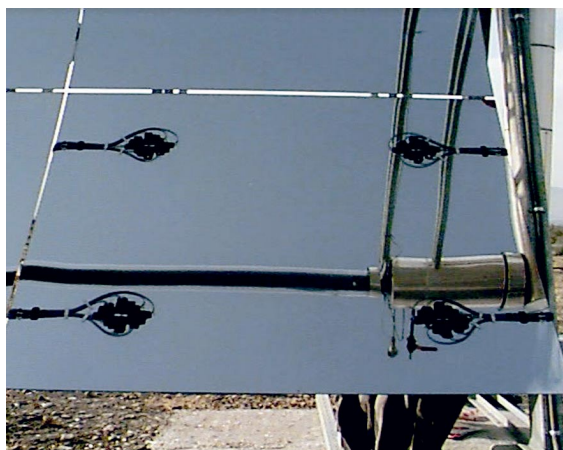
Vista del prototipo de colector EUROTROUGH instalado en la PSA

Otra actividad llevada a cabo por la PSA dentro del proyecto EUROTROUGH en el año 2001 ha sido el diseño y fabricación de un sistema electrónico para la medida de torsiones y deformaciones angulares en colectores cilindroparabólicos [García, Egea, 2001-bis]. La alta sensibilidad del sistema desarrollado permite detectar giros de $0,003^\circ$, lo que resulta de gran utilidad a la hora de optimizar los rodamientos y el equilibrado estructural del colector.

También hemos participado en el estudio del estrés que se produce en los soportes de los espejos de vidrio usados para concentradores cilindroparabólicos del tipo LS-3. En este tema, la PSA ha llevado a cabo la instalación de galgas extensiométricas en todos los soportes de uno de los espejos del colector EUROTROUGH, y se están llevando a cabo medidas del estrés inducido por las cargas de viento en el vidrio, con el fin de poder mejorar los dispositivos de soportado de los espejos y reducir el actual porcentaje de rotura en plantas solares comerciales. La abajo muestra las galgas extensiométricas una vez colocadas sobre el espejo.



Vista de detalle de la instalación



Vista del espejo una vez colocado en el colector

Galgas extensiométricas instaladas uno de los espejos del colector EUROTROUGH

Proyecto DISS-fase II:

Dentro del proyecto *DISS* (Direct Solar Steam) las actividades del CIEMAT en el 2001 han tenido tres objetivos principales: el desarrollo de nuevos tubos absorbentes para colectores cilindroparabólicos, el desarrollo de la tecnología de *generación directa de vapor* en los propios colectores solares (proceso conocido con las siglas DSG), y el desarrollo de un paquete de software que permita simular el funcionamiento de campos de colectores cilindroparabólicos. A continuación se resumen las principales actividades desarrolladas y resultados conseguidos en el 2001 [Zarza et al., 2001].

Desde enero hasta diciembre, se ha operado un total de 1.369 horas el lazo de ensayos DISS de la PSA. Se ha continuado con la operación intensiva puesta en marcha en el año 2000, habiéndose operado la planta hasta la puesta del sol durante los días laborales, y durante 8 horas los sábados, domingos y festivos, siempre que las condiciones atmosféricas eran favorables. Esta operación intensiva ha sido muy fructífera y ha permitido la realización de un gran número de ensayos. Los principales resultados de esta operación han sido los siguientes:

Las juntas rotativas desarrolladas en el proyecto para acoplar tuberías con fluidos a 100bar/400°C siguen sin mostrar problema alguno después de haber acumulado más de 3.000 horas de funcionamiento.

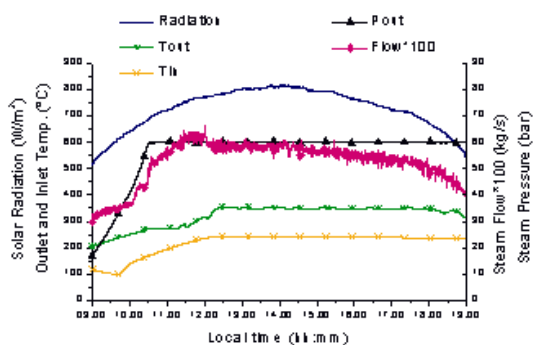
Se han completado todos los ensayos planificados en el proyecto para los procesos de Recirculación y Un-Solo-Paso.

Se han desarrollado y evaluado numerosos algoritmos de control de presión y temperatura del vapor sobrecalentado, para los procesos de Recirculación y Un-Solo-Paso [Valenzuela 2001], [Valenzuela 2002-bis]. La controlabilidad de los procesos de Recirculación y Un-solo-paso es buena. Por el contrario, es difícil y costoso controlar el proceso de Inyección, lo que reduce considerablemente su viabilidad para plantas comerciales. La siguiente figura muestra la buena controlabilidad de la temperatura y presión del vapor producido en Recirculación y en Un-solo-paso

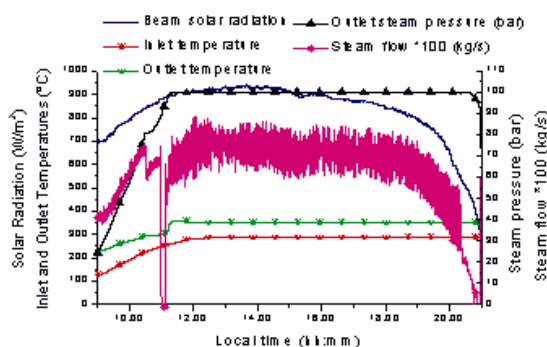
La interfase entre la zona de evaporación y la de sobrecalentamiento en cada fila de colectores cuando se opera en el modo de Un-solo-Paso se desplaza continuamente dentro de una longitud de varios metros, produciendo un elevado estrés en los tubos absorbentes afectados [Rheinländer 2000].

El proceso de recirculación, con solo un 20% de recirculación de agua, muestra unas excelentes perspectivas de viabilidad para plantas comerciales, ya que las caídas de presión en el campo solar son muy inferiores a las existentes en las plantas actuales que funcionan con aceite como fluido de trabajo en el campo solar. Otro aspecto positivo es que el bajo caudal de recirculación que resulta suficiente para tener una buena controlabilidad del campo solar frente a transitorios de radiación solar hace posible el uso de pequeños separadores agua/vapor compactos, que son un 90% más económicos que el tipo de separador instalado en el lazo DISS.

En 2001 se han implementado numerosas mejoras en el lazo de ensayos DISS de la PSA: se ha incrementado la instrumentación (se han instalado tres nuevos transmisores de presión diferencial en el campo solar y un nuevo caudalímetro de vapor en el precalentador del agua de alimentación) [Valenzuela 2001-bis], se ha incrementado la velocidad de proceso de las dos estaciones de operación (desde 200 MHz hasta 930 MHz), se ha implementado un microprocesador adicional, y se ha sustituido la línea de comunicaciones RS232C por una línea SCSI, aumentando de este modo la capacidad de la línea (Valenzuela 2002). También se ha mejorado el sistema de desgasificación del agua, logrando reducir la conductividad del agua de 14 a 4 $\mu\text{S}/\text{cm}$.



Once-through a 60bar (11/07/2001)

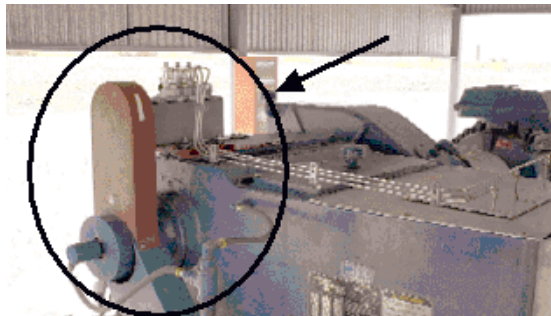
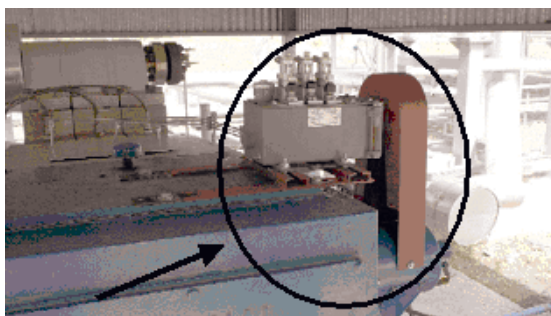


Recirculación, a 100bar (05/07/2001)

Generación directa de vapor sobrecalentado en el lazo DISS de la PSA, operando la planta en Recirculación y Un-solo-paso

Un logro muy importante en el proyecto DISS ha sido la solución del problema de funcionamiento que presentaba la bomba de recirculación para operar a alta presión (100 bar). La solución ha consistido en la implementación de vástagos auto-alineantes y un sistema de lubricación mediante aceite en las empaquetaduras. Esto ha permitido obtener el certificado de prueba funcional expedido por EUROCONTROL para que el lazo DISS pueda operar a 100 bar.

La figura debajo de muestra dos imágenes del sistema de lubricación instalado encima de la bomba de agua de recirculación. El pequeño caudal de aceite (unas cuantas gotas de por minuto) inyectado por este sistema en el interior de la empaquetadura, es suficiente para reducir sustancialmente la fricción entre el vástago y dicha empaquetadura. Tras los múltiples pruebas y cambios de componentes llevados a cabo en los años anteriores, la lubricación de la empaquetadura ha demostrado ser la única solución al problema que impedía el correcto funcionamiento de la bomba a alta presión.



Detalles del sistema de lubricación de empaquetadura instalado en la bomba de agua de recirculación

Con la instalación del sistema mostrado en la figura de arriba, se ha terminado con los continuos fallos que presentaba esta bomba cuando trabajaba a alta presión. Desde mayo de 1999 la bomba sufrió numerosas averías provocadas por una inadecuada selección de la empaquetadura de grafito y una excesiva fricción entre los vástagos y las empaquetaduras, de modo que se alcanzaban temperaturas superiores a los 800°C en las empaquetaduras, lo que las destruía a la vez que dañaba seriamente la superficie exterior de los vástagos. La figura siguiente muestra el estado en el que quedaban las empaquetaduras y los vástagos tras cada avería.

En el mes de agosto se procedió a la inclinación del colector solar nº 9 del lazo DISS, con el fin de investigar la influencia que tiene la inclinación del tubo absorbente del colector en los parámetros termo-hidráulicos del flujo bifásico que circula por el interior del tubo. La figura de abajo muestra el aspecto que presenta el colector número 9 después de ser inclinado 4°. Durante el último cuatrimestre del año se han realizado ensayos a dife-



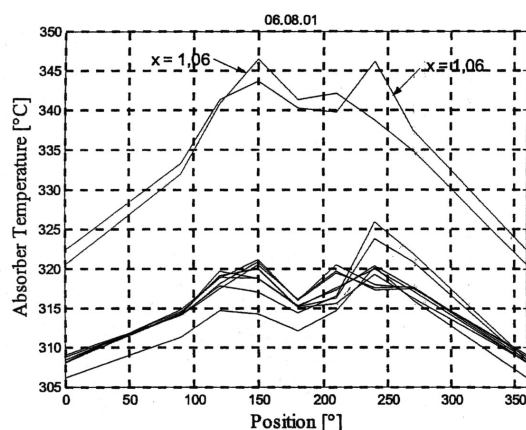
Aspecto que presentaban las empaquetaduras y los vástagos de la bomba de recirculación tras una de las frecuentes averías

rentes presiones de trabajo (30, 60 y 100bar) y con diferentes caudales máxicos. Los resultados experimentales obtenidos en la PSA indican, en contra de lo que se pensaba inicialmente, que no merece la pena inclinar los colectores solares, ya que los gradientes de temperatura que se obtienen son muy similares a los que existen en tubos absorbentes horizontales. Esta es una buena noticia para la viabilidad técnica y económica de las plantas termosolares con generación directa de vapor en los propios colectores cilindro-parabólicos, ya que tener que inclinar los colectores hubiera supuesto un incremento importante no solo en la inversión inicial, sino también en los gastos de operación y mantenimiento de la planta.

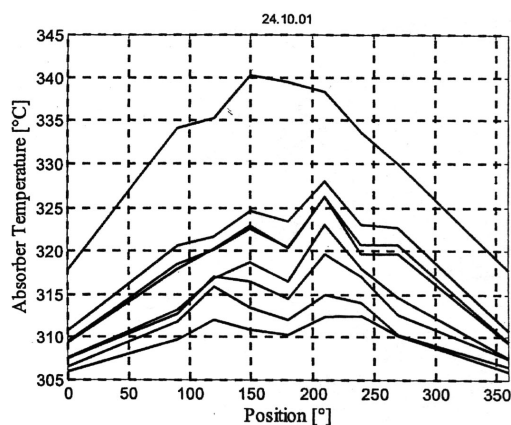


Aspecto del colector número 9 del lazo DISS tras ser inclinado 4°

Aunque estudios teóricos realizados a mediados de la década de los años 90 del pasado siglo indicaban que los gradientes térmicos en los tubos absorbentes inclinados eran muy inferiores a los existentes en tubos horizontales cuando se estratificaba la fase líquida del flujo bifásico que circulaba por su interior, los resultados experimentales conseguidos en la PSA han puesto de manifiesto que los gradientes térmicos son muy similares en ambos casos, tal y como se muestra en la figura siguiente.



Tubos absorbentes horizontales



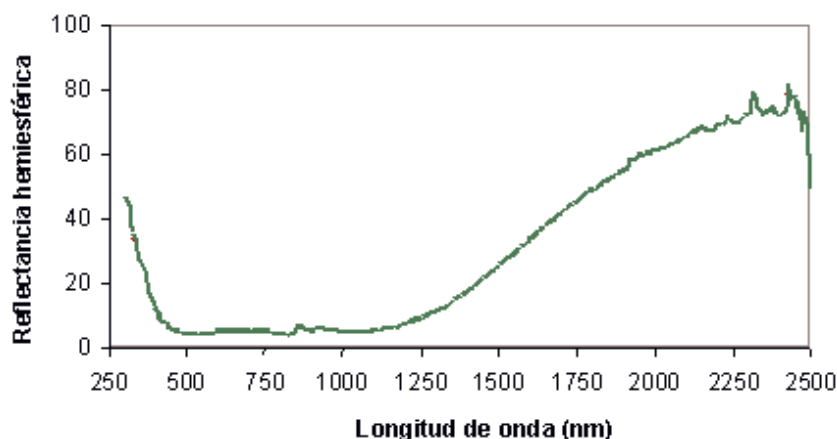
Tubos absorbentes inclinados 4°

Comparación de los gradientes térmicos medidos en tubos absorbentes horizontales y tubos inclinados 4°

Dentro del proyecto DISS, la PSA también ha llevado a cabo en 2001 una intensa actividad en el desarrollo de superficies antirreflectantes y recubrimientos selectivos para los tubos absorbentes de colectores cilindroparabólicos. La técnica empleada por la PSA es la del Sol-gel, que es una técnica muy económica para la obtención de recubrimientos de pequeño espesor con diversas propiedades ópticas.

Aplicando la técnica Sol-Gel se ha producido un absorbente solar del tipo de filtro interferencial $\text{SiO}_2/\text{Pt}/\text{SiO}_2$, con una absorptancia solar de 0.91 y una emisividad térmica a 400°C menor de 0.15. La figura de abajo muestra la reflectancia de este absorbente, que presenta, además, una excelente estabilidad térmica a 400°C. La capa de platino tiene un espesor de 100 nm y es depositada por dip-coating sobre un sustrato de acero recubierto de sílice. Esta capa de platino, que posee una estabilidad térmica mayor de 500°C y buenas propiedades ópticas, permitirá en un futuro cercano sustituir la capa reflectora infrarroja de 5.000 nm de oro usada hasta ahora, con una reducción del coste del reflector de 25 veces. Teniendo en cuenta que la capa de oro representa el 20% del coste del tubo absorbente completo, este abaratamiento es un importante paso adelante para la consecución de un nuevo tubo absorbente comercial para colectores cilindroparabólicos. Para la deposición de esta capa de platino se usa un nuevo tipo de solución precursora, desarrollada también por la PSA, que permite la deposición de capas metálicas o dieléctricas sin usar alcóxidos de metal.

En el 2001, la PSA también ha mejorado los recubrimientos antirreflectantes depositados sobre vidrio mediante la técnica Sol-Gel, consiguiendo un aumento de la transmitancia solar del vidrio de 0,927 hasta 0,972, con buenas propiedades mecánicas que permiten su limpieza sin degradación. El desarrollo de estos recubrimientos comenzó hace ya varios años, y se sigue trabajando en la mejora de sus propiedades mecánicas y ópticas.

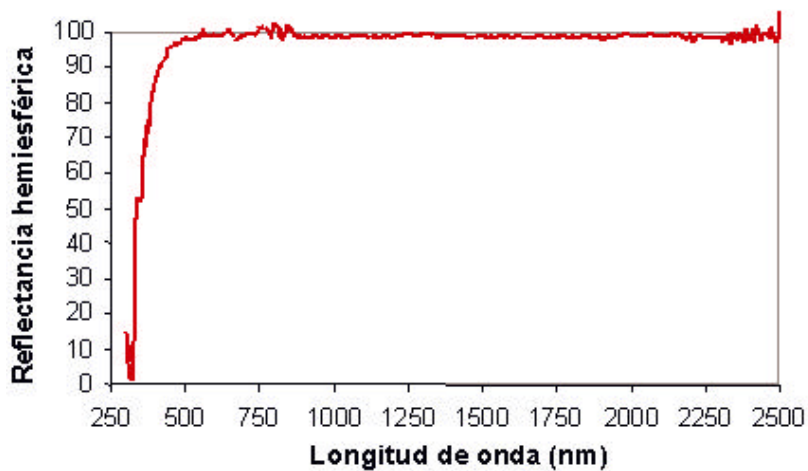


Reflectividad del nuevo absorbente selectivo desarrollado por la PSA.

varios años, y se sigue trabajando en la mejora de sus propiedades mecánicas y ópticas.

Otro de los logros de la PSA con relación a la técnica del Sol-gel ha sido el desarrollo de una nueva formulación para la deposición de películas reflectoras de plata por electrolisis, con una alta reflectividad integrada en el espectro solar. Esto permitirá la optimización de las propiedades de los reflectores de primera superficie y una mejora en las condiciones de preparación a escala industrial. La figura adjunta muestra la reflectividad hemiesférica de la película de plata desarrollada por la PSA, que alcanza un valor de 0,965, frente al máximo teórico de 0,97

Esta nueva película reflectora tiene una componente difusa menor del 1% cuando se deposita sobre vidrio. Cuando se usa un sustrato de acero inoxidable, el valor de la componente difusa depende del grado de pulido de la superficie. Con laminas comerciales de acero inoxidable pulido, se ha medido un valor del 2% para la componente difusa. Otra ventaja importante de esta película reflectante es su excelente reproducibilidad y homogeneidad.



Reflectividad de la nueva película de plata desarrollada por la PSA.

Otro campo en el que la PSA ha estado trabajando en el año 2001 es el desarrollo de herramientas de cálculo y simulación. Utilizando el entorno TRNSYS se ha desarrollado un paquete de software para la simulación del comportamiento térmico e hidráulico de campos solares con colectores cilindroparabólicos con aceite como fluido de trabajo, y se ha comen-

zado el desarrollo de los módulos de software para colectores con generación directa de vapor. El software desarrollado para colectores con aceite ha sido validado usando TRNSYS con datos reales de la Planta SEGS VII de California. El software desarrollado se ha aplicado para la simulación del comportamiento de un campo de 10 MWe con colectores cilindro-parabólicos del tipo LS-3, usando aceite térmico del tipo Therminol VP-1 como fluido caloportador entre el campo solar y el bloque de potencia.

Para concluir la descripción de las actividades llevadas a cabo por la PSA en el 2001 dentro del marco de trabajo del proyecto DISS-II, hay que decir que se ha continuado con las medidas experimentales para el estudio de la mejora de transferencia de calor en tubos absorbentes provistos de recubrimientos capilares integrados en su interior. Se ha ampliado el número de medidas experimentales y se ha evaluado una muestra de tubería con el interior liso en un amplio rango de temperaturas y presiones. Esta muestra será la referencia experimental para comparar los resultados que se obtengan con las muestras provistas de un recubrimiento capilar en su interior. Se ha intentado evaluar una tubería con un recubrimiento poroso sinterizado a 900°C de CaCO_3 , y fabricada por el CSIC, pero el recubrimiento se deshizo al someterlo a las temperaturas correspondientes a la generación directa de vapor solar. En la actualidad se dispone de un par de muestras más con recubrimiento poroso: una con CaCO_3 , sinterizado a 1.000°C y otra con un recubrimiento a base de Níquel. El ensayo de ambas muestras será la próxima actividad de la PSA en este tema.

Fachadas Solares:

En lo referente a este proyecto, cuya finalidad básica es el desarrollo de materiales absorbentes selectivos para las fachadas de edificios y la captación pasiva de energía solar térmica, la actividad de la PSA en el año 2001 ha estado centrada en la mejora de las características ópticas y resistencia a la intemperie de los diversos productos desarrollados durante los años anteriores mediante la técnica de Sol-Gel. Los principales logros en este campo han sido:

Hemos mejorado la emisividad térmica de los absorbentes solares selectivos desarrollados por la PSA para su integración en fachadas de edificios, pasando de un 0,3 a un 0,09 de emisividad a 100°C.

También hemos mejorado la durabilidad ambiental de los materiales absorbentes y reflectores preparados para el proyecto. Aunque la durabilidad de los absorbentes no es aún la deseada, nuestros reflectores de aluminio protegidos por sílice, depositada por la técnica Sol-gel [Guillén et al., 2001], han superado todos los tests de degradación acelerada, siendo el único material, preparado en el proyecto que ha superado sin degradación alguna los tests de durabilidad.

Hemos fabricado en nuestro laboratorio de Madrid 10 elementos de absorbentes para fachadas, de 200 x 200 mm y con una excelente homogeneidad, para la fabricación de un elemento de fachada completo de 2x1 m y el estudio de su durabilidad ambiental por parte de los otros socios del proyecto.

Dadas las excelentes propiedades de nuestras películas de sílice densa preparadas por sol-gel, se han empleado para recubrir el mejor absorbente solar existente en el mercado actual para baja temperatura, denominado *Sunselect*, producido por la empresa alemana *Interpane*, con una mejora de las propiedades ópticas y de su durabilidad ambiental.

Otras actividades en el año 2001:

Además de las actividades llevadas a cabo dentro de los proyectos: EUROTROUGH, DISS-II y FACHADAS SOLARES, la PSA ha realizado otras actividades en el año 2001. Entre estas actividades caben destacar tres:

- Desarrollo de un nuevo tubo absorbente para colectores cilindroparábolicos, en colaboración con las empresas Iberdrola y Viessmann. Esta actividad tiene como objetivo fundamental acabar con la escasez actual de oferta que existe en el mercado para tubos absorbentes que puedan trabajar con una buena eficiencia a temperaturas de hasta 400°C. La superficie selectiva que se empleará en este nuevo absorbente será fabricada mediante la técnica de Sol-gel.
- Apoyo y asesoramiento técnico a aquellas empresas españolas que han mostrado su interés por la tecnología de los colectores cilindroparábolicos y sus aplicaciones comerciales.
- Preparación y planificación de nuevos proyectos que permitan continuar con las líneas principales de trabajo definidas por la PSA en el campo de los colectores cilindroparábolicos. Hemos participado en la preparación de tres nuevos proyectos importantes que han sido presentados dentro del V Programa Marco de la C.E. para su subvención. Uno de dichos proyectos (INDITEP) fue evaluado favorablemente y ha sido aprobado, estando previsto que comience su actividad a principios del año 2002.

Química Solar

Introducción

El área de Química Solar de la PSA ha estado trabajando en procesos y aplicaciones fotoquímicas basados en el uso de la radiación solar desde 1990, participando en múltiples proyectos e iniciativas tecnológicas tanto nacionales como internacionales. Especial interés han tenido las actividades de detoxificación, o tratamiento fotocatalítico de contaminantes en fases acuosa y gaseosa. La experiencia acumulada en este campo ha permitido el desarrollo y continua ampliación y mejora de la instalación experimental de detoxificación solar más importante existente en Europa. Esta instalación ha sido ampliamente usada, durante estos últimos años, por multitud de grupos de investigación Europeos dentro de distintos programas de la Comisión Europea de Acceso a Grandes Instalaciones Científicas Europeas.

Estas instalaciones, conjuntamente con la experiencia, conocimientos y el elevado número de grupos de investigación y empresas con los que se tiene algún tipo de relación, ha permitido al grupo de Química Solar el llevar a cabo durante los últimos años un importante número de proyectos, tanto científicos como tecnológicos, con el objetivo de desarrollar por una parte la tecnología [Blanco y col., 2001a] y por otra las aplicaciones de los procesos de detoxificación solar para la degradación de contaminantes no biodegradables. Esta importante labor, conjuntamente con un elevado nivel de publicaciones internacionales, han motivado que el grupo de Química Solar cuente actualmente con un elevado prestigio y su labor este ampliamente reconocida internacionalmente.

En este contexto, durante el año 2001, el grupo de Química Solar ha llevado a cabo una importante política de expansión en su ámbito de actuación para, manteniendo su núcleo principal de desarrollo dentro de los procesos de fotocátalisis solar, incrementar esta actividad con los procesos de desalación solar y desinfección mediante luz solar. Esto ha permitido un reenfoque importante del proyecto global pasando a centrar ahora claramente su actividad en aquellos procesos que combinan el agua y la energía solar. Esta labor, además, se ha visto claramente apoyada y refrendada por varios proyectos tanto nacionales como internacionales (estos últimos muy importantes y con un elevado nivel de financiación) que garantizan la actividad del grupo durante los próximos 4 años.

Estos nuevos proyectos suponen, además, la creación de múltiples consorcios industriales con lo que aumentarán de forma significativa los ya importantes niveles de colaboración, tanto a nivel nacional como internacional, con que cuenta la Plataforma Solar. Hay que destacar en este sentido, que en el ámbito local de la provincia de Almería esta colaboración es también muy importante, estando involucrados en diversos proyectos varios departamentos de la Universidad de Almería, empresas locales como Albaida, cooperativas agrícolas como Coexpal, comunidades de regantes como Cuatro Vegas de Almería, la institución financiera Cajamar a través de su Instituto de Estudios y la estación experimental de las Palmerillas, o la empresa DSM-Deretil, entre otros.

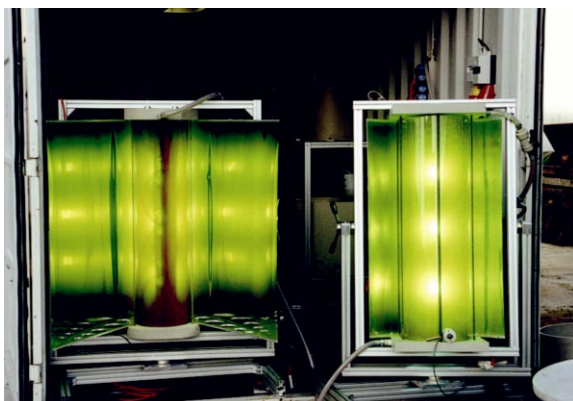
Las siguientes secciones resumen los logros y actividades más importantes durante 2001 en el campo de la Química Solar y proporcionan una visión adecuada de la labor desarrollada durante este año.

Reutilización de alpechín después de tratamiento fotocatalítico

El proyecto "Water recovery from olive mill wastewaters after photocatalytic detoxification and disinfection" LAGAR (financiado por la CE DG RDT, nº FAIR-CT98-3807) ha finalizado en Agosto 2001. En este proyecto la Plataforma Solar ha participado conjuntamente con la Univ. Técnica de Viena (TUW, Austria), el Instituto Nacional de Ingeniería y Tecnología Industrial (INETI, Portugal) y NAIAS S.A. (empresa privada, Grecia). El objetivo principal ha consistido en la demostración de la viabilidad del tratamiento de alpechín mediante Fotocatálisis Solar (reducción del contenido fenólico para obtener agua de riego con

componentes orgánicos no tóxicos que pueda ser usada como abono). Las diferentes fases del proyecto han consistido en:

- Caracterización del alpechín
- Desarrollo de procesos fotocatalíticos para su tratamiento y reutilización para riego/abono
- Diseño, construcción y ensayo de fotorreactores para el tratamiento del alpechín
- Demostración de la viabilidad técnica
- Instalación de fotorreactores en almazaras de Grecia y Portugal



Fotorreactor "mixto" basado en colector CPC y lámparas UV instalado en almazara en Portugal (izquierda) y fotorreactor basado en "placa plana" instalado en almazara en Grecia (derecha)



Secuencia de tratamiento para alpechín propuesta en el Proyecto LAGAR

Debido a la elevada opacidad del alpechín y a que el mejor método de los ensayados ha sido Foto-Fenton ($\text{Fe}/\text{H}_2\text{O}_2$), se han diseñado fotorreactores especialmente adaptados para su tratamiento. Se ha demostrado fehacientemente [Gernjak y col., 2001] que la fotocatalisis es capaz de reducir sustancialmente el contenido fenólico del alpechín (olive mill wastewater) e incluso se ha probado su utilidad como agua de riego en experimentos de fitotoxicidad llevados a cabo en la Plataforma Solar en un invernadero construido al efecto y utilizando cebada como cultivo "modelo".

Tratamiento de aguas residuales industriales

Dentro de las actividades realizadas por el grupo en el Área de Detoxificación Solar destaca el estudio realizado durante los años 2000 al 2001, encuadrado dentro de un proyecto plurianual aprobado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología dentro del Programa de Fomento de la Investigación Técnica (PROFIT), en colaboración con la empresa ECOSYSTEM. El proyecto, titulado "Aplicación de la degradación solar fotocatalítica al tratamiento "in situ" de efluentes industriales", ha sido financiado durante dos convocatorias consecutivas (FIT-140100-2000-43 y 140100-2001-112) con un presupuesto total de 87.000 Euros.

En este proyecto se ha construido y equipado una planta móvil experimental que ha sido evaluada en las instalaciones del CIEMAT-DER previamente a su utilización por ECOSYSTEM para la realización de una exhaustiva campaña de ensayos en tres empresas seleccionadas. En estas empresas se llevaron a cabo tratamientos *in situ* de diferentes aguas residuales y contaminantes industriales [Vidal, 2001c]. Los tratamientos *in situ* suponen una importante posibilidad de comercialización futura de esta tecnología debido principalmente a:

- 1) La desconfianza de muchas empresas a ceder sus residuos para ensayos de viabilidad fuera de sus instalaciones.
- 2) La dificultad de transporte de residuos "tóxicos y peligrosos" para su posterior tratamiento de acuerdo a la legislación vigente.
- 3) La fiabilidad en los resultados experimentales dado que las características del efluente no sufren alteración.

Finalmente, el proyecto ha sido concebido de tal manera que los ensayos pueden ser monitorizados por personal de la empresa, lo que facilita el acceso y fácil comprensión de la tecnología. Hasta el momento se han realizado varios ensayos con dos tipos de residuos claramente diferenciados:

- Tratamiento de un lixiviado procedente de un vertedero de RSU localizado en la localidad de ALCOA (Alicante) y gestionado por la empresa CESPA.
- Estudio realizado en un municipio de 15.000 habitantes, localizado en la comarca del Vallès, de cara a la implantación de la tecnología solar fotocatalítica en el tratamiento de potabilización de un agua subterránea contaminada con disolventes organoclorados.

Este proyecto que ha concluido recientemente y en la actualidad se está redactando el informe final del mismo.

Tratamiento de aguas de papelería

Este proyecto del Ministerio de Ciencia y Tecnología denominado: "Aplicación de la fotocatalisis a la depuración de efluentes residuales de la industria papelera. Diseño de una instalación solar para el tratamiento de dichos efluentes" (proyecto: AMB1999-1212-C03-03), se realiza en colaboración con la Univ. Autónoma de Barcelona y pretende aplicar la fotocatalisis a la eliminación de los contaminantes orgánicos presentes en los efluentes de blanqueo de pasta de papel, mediante el desarrollo de nuevos fotocatalizadores y la adición de ciertas especies en disolución, con el fin de aumentar la eficiencia del proceso de degradación. Asimismo, se pretende la realización de ensayos de aprovechamiento de luz solar en planta piloto para permitir el diseño de una instalación para el tratamiento de estos efluentes. Los objetivos del proyecto son los siguientes:

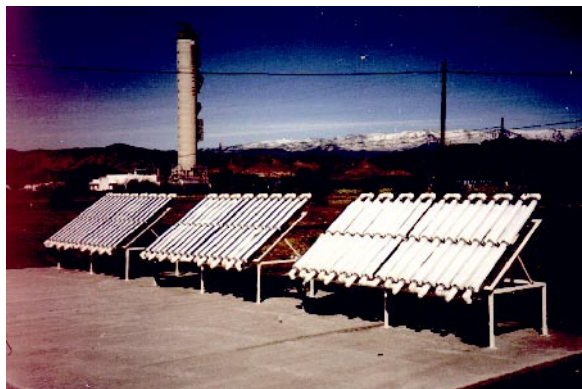
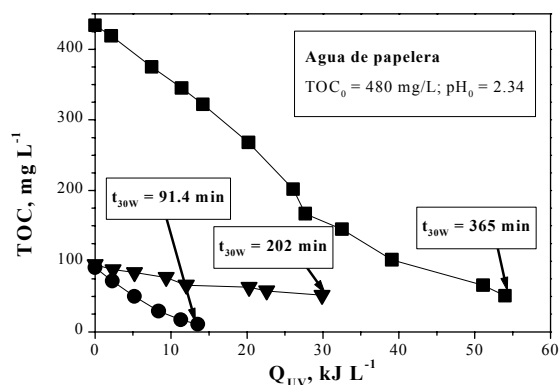
- 1) obtención y caracterización de efluentes residuales,
- 2) síntesis, caracterización y ensayo de fotocatalizadores,
- 3) determinación de las condiciones experimentales óptimas de degradación fotocatalítica de los contaminantes,
- 4) realización de ensayos fotocatalíticos en planta piloto y



Fotografía de la planta piloto móvil tomada durante unos ensayos de monitorización

5) diseño de una instalación solar para el tratamiento de dichos efluentes.

Los ensayos se realizaron en una de las instalaciones experimentales de la PSA, añadiendo 200 mg por litro de TiO_2 a la muestra de efluente residual de aguas de papelería y haciéndola circular por el colector. En algunos ensayos, se añadió persulfato con el fin de favorecer la degradación de los compuestos orgánicos recalcitrantes presentes en la muestra. En la figura adjunta se muestran los resultados obtenidos. En esta figura, se representa la variación del de la muestra residual en función del parámetro Q_{UV} que representa la energía acumulada dentro del reactor fotoquímico a lo largo del experimento. También se indica el t_{30W} (tiempo de experimentación equivalente con una radiación constante de 30 W/m^2) en los puntos finales de cada ensayo para dar una idea del tiempo aproximado que sería necesario en cada caso.



Representación del COT de la muestra respecto a la energía disponible Q_{UV} a distintas condiciones: ● Agua diluida 5 veces. $[\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]_0 = 15 \text{ mM}$; ■ Agua sin diluir. $[\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]_0 = 67 \text{ mM}$; ▼ Agua diluida 5 veces y sólo TiO_2 .

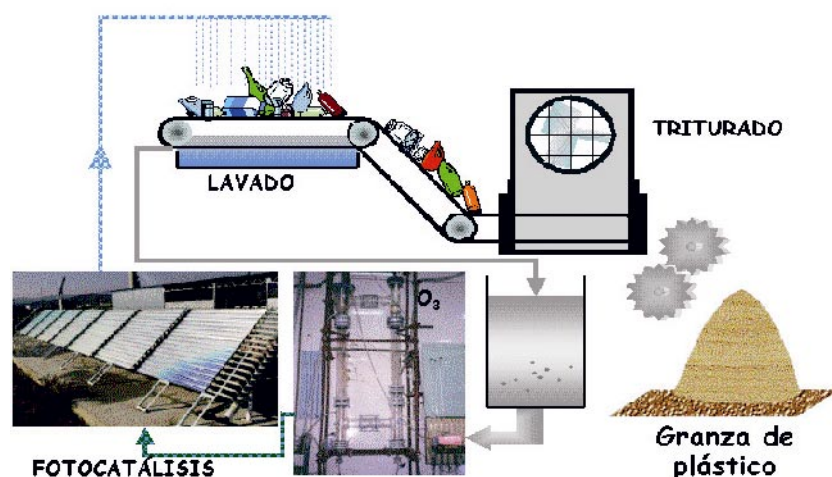
Vista general de los colectores CPC de la PSA utilizados en la parte experimental del presente proyecto

En la figura se demuestra que la adición de este oxidante es sustancialmente beneficiosa ya que lleva a una reducción muy importante (al menos 6 veces para el agua diluida 5 veces con COT inicial alrededor de 100 mg/L) de la energía necesaria para la mineralización total. Esta reducción también es aplicable a la de la superficie de colectores necesaria para degradar los orgánicos en el agua de proceso. El consumo de persulfato es además linealmente dependiente del COT degradado y no del COT existente al principio de la degradación. Los resultados obtenidos demuestran que en la degradación de aguas de papelería con la adición de persulfato se consiguen dos efectos:

- incrementar la velocidad de reacción en un orden de magnitud (comparada con el TiO_2 solo) en todas las concentraciones iniciales probadas,
- no hay ningún efecto de "saturación" a una alta concentración de inicial de carbono orgánico; esto resulta importante ya que permite trabajar a diferentes concentraciones iniciales sin perder eficiencia en la velocidad de degradación.

Diseño y optimización de una planta piloto de tratamiento integrado de residuos de envases fitosanitarios para su reciclaje

Este proyecto (denominado TREN-AGRO) es financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (Convocatoria de Proyectos de I+D, BOE 8 de marzo de 2000, Proyecto PPQ2000-0126-P4-05) y ha comenzado en Noviembre de 2001. En este proyecto la Plataforma Solar participa conjuntamente con el Dep. Química Analítica de la Univ. de Almería (coordinador), Aragonesas Agro S.A., Cooperativa de Exportadores de Frutas y Hortalizas de la Provincia de Almería y Dep. Ingeniería Química de la Univ. de Alcalá.



Secuencia de tratamiento para envases de plaguicidas propuesta en Proyecto TREN-AGRO

El trabajo que se propone pretende desarrollar un proceso de para el tratamiento de los residuos de envases de fitosanitarios que permita su reciclado y otras aplicaciones en la industria del plástico. El proceso constará de dos pasos fundamentales de varias operaciones cada uno (i) directamente sobre los envases; triturado, lavado, secado y compactado que para inertizar adecuadamente los residuos y (ii) sobre las aguas de lavado; tratamiento físico-químico de las misma que elimine totalmente los componentes tóxicos como son los plaguicidas y sus productos de transformación presentes [Blanco y col., 2001; Malato y col., 2001a]. De esta forma será posible la incorporación de los residuos plásticos a los Sistemas Integrados de Gestión (SIG) de los residuos de envases no peligrosos habituales en las zonas urbanas y las aguas de lavado podrán reutilizarse en nuevas operaciones de lavado en el proceso propuesto. El tratamiento físico-químico estará basado en Procesos de Oxidación Avanzada (POA): tratamiento con Ozono/H₂O₂ o tratamiento fotocatalítico, basado en la utilización de la radiación solar como fuente de fotones, con UV/TiO₂ o Foto-Fenton [Malato y col., 2001b]. Ambos tratamientos tendrán una capacidad de aproximadamente 500 L por lo que los reactores o colectores solares estarán diseñados específicamente para esta aplicación [Funken y col., 2001; Malato y col., en prensa b]. El tratamiento físico-químico que finalmente se aplicará dependerá de la capacidad del proceso global y después de un detallado estudio en el contexto de la aplicación concreta que se considera [Malato y col., 2001c]. La integración de las operaciones en un solo proceso así como el "know-how" del mismo será el principal resultado científico-tecnológico. Igualmente la evaluación de las condiciones de viabilidad de una planta de reciclaje [Malato y col., 2001d, 2001e] adaptada a unas necesidades concretas será el principal resultado empresarial. El proceso que se propone permitirá la aplicación de la Directiva europea 94/62/UE y su transposición española Ley de Envases 11/97 y Ley de Residuos 10/98.

El objetivo final del proyecto es el de diseñar, construir y optimizar una planta piloto que incluya los controles de calidad (tanto de producto final como medioambiental del proceso global) necesarios para la transformación de los envases plásticos de residuos fitosanitarios en plástico libre de pesticidas y utilizable para otras aplicaciones. Este estudio obtendrá datos sobre el diseño, eficiencia (cinética, estabilidad, flexibilidad para los distintos envases y productos), calidad y viabilidad económica. Todo ello permitirá su escalado a plantas que permitan su ubicación fácil en diferentes áreas geográficas donde el sector agrícola es relevante.

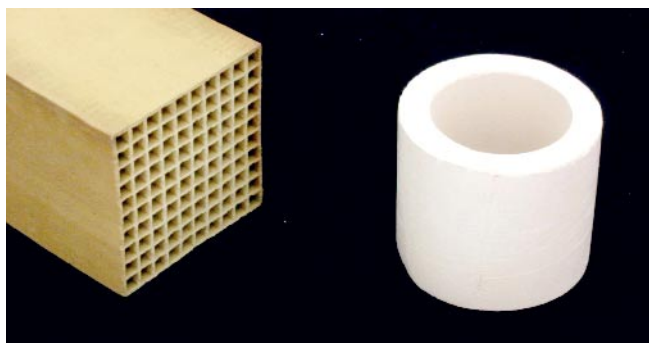
Destrucción de contaminantes orgánicos en fase gas

Las actividades realizadas durante este periodo han estado relacionadas con el desarrollo y optimización de colectores solares basados en catalizadores de alta eficiencia cuántica para su aplicación en la reducción de emisiones tóxicas gaseosas (proyecto financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología y la Comunidad de Madrid, conjuntamente con el Ciemat y el CSIC).

El objetivo del proyecto está relacionado con el diseño de unidades de purificación de gases basadas en colectores solares y catalizadores monolíticos con adecuadas características físico-químicas y fluidodinámicas para su utilización industrial. Desde el punto de vista del catalizador, se ha tratado de optimizar el diseño de los monolitos con estructura de panal de abeja, que permiten una reducción apreciable de los problemas derivados de la pérdida de carga y resistencia mecánica generados por el uso de lechos fijos convencionales.

Además de mejorar las características morfológicas de los catalizadores se trata de optimizar su eficiencia mejorando la distribución de la fase activa en los mismos. Para ello, se ha iniciado el estudio comparativo del comportamiento de catalizadores en los que el TiO_2 forma parte de la masa con la que se elabora el monolito (máscicos), con el de catalizadores en los que el TiO_2 se ha depositado en forma de recubrimiento sobre un monolito preparado con una matriz silíceá (recubiertos).

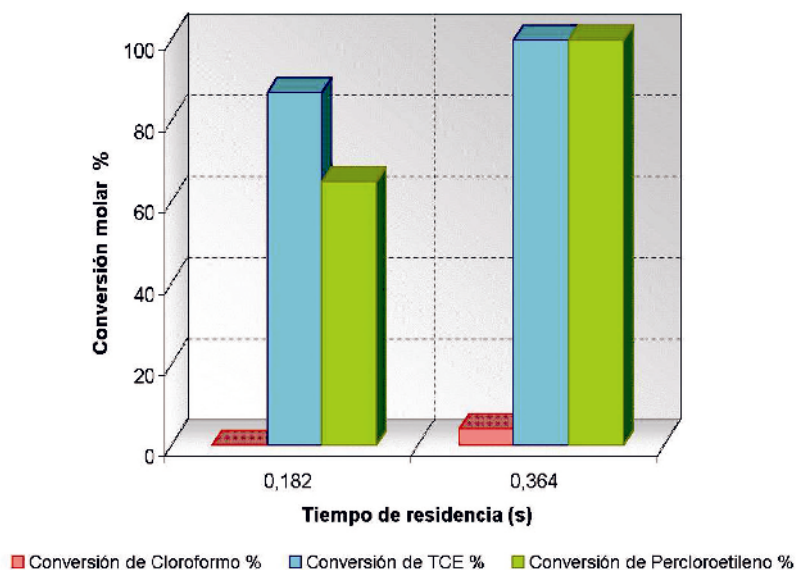
Desde el punto de vista fotónico, el objetivo es investigar la influencia de diferentes parámetros como la temperatura, velocidad lineal e intensidad fotónica, así como la capacidad de formación de radicales hidroxilo y la promoción de reacciones redox que la radiación solar presenta al irradiar dióxido de titanio soportado en diferentes estructuras como monolitos, soportes planos o colectores cilindroparabólicos.



Catalizadores de canales paralelos -monolito-, y tubular, utilizados en diferentes ensayos y fabricados por el ICP-CSIC



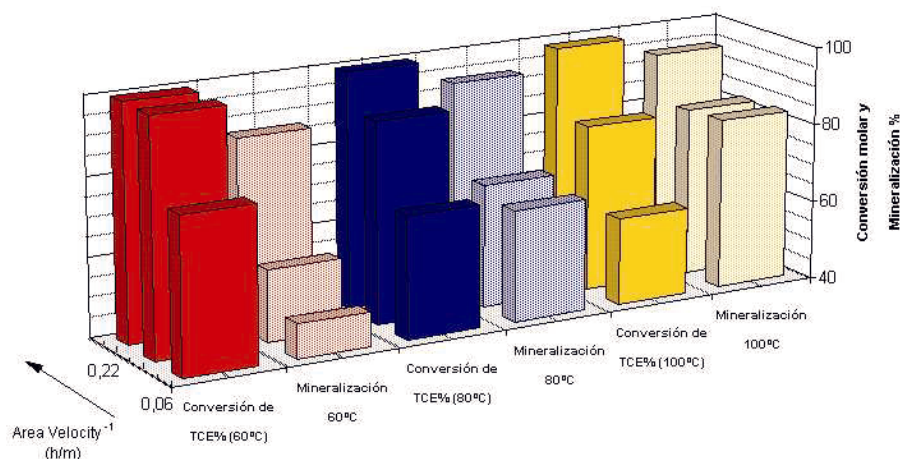
Catalizador tubular impregnado con TiO_2 y alojado en el interior del adsorbente de un colector cilindroparabólico. La configuración del sistema permite utilizar radiación solar en su parte externa a la vez que lámparas UV irradian la superficie interna del catalizador



Eficiencias de destrucción fotocatalíticas para distintos compuestos clorados: Cloroformo, Tricloroetileno, Percloroetileno

Un factor importante, ha sido el análisis de las eficiencias de destrucción que diferentes familias de compuestos muestran al ser tratados mediante fotocatalisis. En los ensayos realizados hasta la fecha, la respuesta de compuestos aromáticos tipo BTX (Benceno, Tolueno y Xileno), en tiempos de residencia inferiores a 2 s son prácticamente irrelevantes, mientras que 0,4 s resulta tiempo suficiente para tratar compuestos clorados como tricloroetileno o percloroetileno. Este significativo hecho diferencial representa la no universalidad del tratamiento fotocatalítico en su estado actual para gases, y obliga a ensayar sistemáticamente cada uno de los compuestos que se pretendan destruir.

El proceso fotocatalítico presenta una respuesta compleja a los cambios de temperatura. Por un lado, la mineralización a CO₂ del TCE convertido, es significativamente potenciada por un incremento de la temperatura, pero por otro, la degradación del TCE disminuye rápidamente a temperaturas por encima de 125°C. Por lo tanto, los procesos de adsorción/desorción del TCE sobre el catalizador a temperaturas de 125°C son definitivamente identificados como factores clave en catalizadores basados en TiO₂+Silicatos naturales. Se identifica así, un rango de temperaturas bajas de trabajo muy útil para la utilización de sistemas solares de baja o muy baja concentración.



Influencia de la temperatura en la conversión y mineralización de Tricloroetileno sobre catalizadores tubulares

Acceso a la PSA como Gran Instalación Científica Europea



Fotoreactor "en cascada" utilizado para ensayar titanía depositada sobre un soporte de fibra preparada por la empresa AHLSTROM PAPER

El Proyecto de la Unión Europea "Trans-national Access to Plataforma Solar de Almería: the European Solar Thermal Test Centre" del Programa IMPROVING HUMAN POTENTIAL se inició el 1 de Febrero de 2000 y se extenderá hasta 30 de Junio de 2004. Este proyecto consiste en poner a disposición de diferentes grupos de investigación europeos la Plataforma Solar de Almería para la realización de ensayos relacionados con la Energía Solar, con el asesoramiento y colaboración del personal científico de la PSA. En este proyecto la actividad de fotoquímica solar es una de las áreas mas exitosa, con una elevada producción científica [Augugliaro y col., 2001; Parra y col., 2001; Sarria y col., 2001; Szulbiński y col., 2001^a, 2001b] que ha permitido al grupo de Química Solar el convertirse en un referente en Europa [Malato y col., en prensa a]. De hecho, durante el año 2001 se ha recibido en la PSA un total de 11 grupos Europeos distribuidos en 7 periodos de ensayos (4 en la instalación Detox y 3 en la instalación Solfin), actividad muy similar a la que se produjo durante el año 2000. Es esperable que esta actividad continúe con igual o mayor intensidad en los próximos años. Los ensayos realizados durante el año 2001 en detoxificación fotocatalítica, encaminados fundamentalmente a la descontaminación de aguas, han

sido los siguientes:

- 1) Lab. Phys. Chem.-Univ. of Thessaloniki (Grecia). Tratamiento fotocatalítico de aguas residuales municipales. Se ha pretendido desarrollar un método simple para el tratamiento de aguas de pequeños municipios de islas del Mar Egeo, donde la diferencia de población entre verano e invierno es enorme y los tratamientos biológicos convencionales son difíciles. Los experimentos fotocatalíticos en la PSA han consistido en reducir la materia orgánica, así como la conversión de N orgánico en inorgánico (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^-) en aguas residuales municipales preparadas a partir de sus componentes típicos. Los métodos ensayados han sido: $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$, $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$, Photo-Fenton y Photo-Fenton modificado usando Ferrioxalato y H_2O_2 .
- 2) AHLSTROM PAPER GROUP/ Lab. Photocatalyse, Catalyse and Environment-E. Centrale de Lyon (Francia). Ensayos con dióxido de titanio fijado sobre soporte desarrollado por la empresa AHLSTROM PAPER. Se han realizado experimentos con titanía depositada sobre un soporte de fibra preparada por la empresa AHLSTROM PAPER y utilizando un reactor "en cascada". Los ensayos han estado relacionados con: actividad, durabilidad, reactivación, limpieza, regeneración y frecuencia de reemplazo del catalizador. Los compuestos utilizados como modelo han sido: formetionato, fenamifos (ambos plaguicidas), azul de metileno, índigo y congo rojo (colorantes).
- 3) Dip. di Ingegn. Chim. dei Processi e dei Materiali-Univ. Palermo/Dip. di Chimica Anal.-Univ. di Torino. (Italia). Degradación fotocatalítica de acetonitrilo disuelto en agua mediante suspensiones de TiO_2 . El acetonitrilo es un compuesto tóxico muy estable que se encuentra muy a menudo en aguas residuales ya que es un residuo habitual en laboratorios de química (es ampliamente utilizado como eluyente de HPLC). Se ha estudiado la cinética de degradación en función de: concentración inicial de compuesto, de catalizador y de fuerza iónica del medio. Además se han

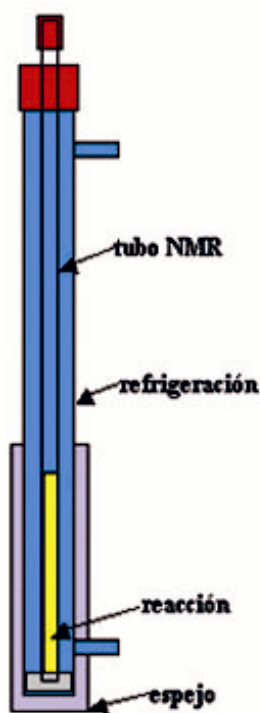
usado oxidantes como H_2O_2 y $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ y se ha realizado un estudio detallado de intermedios de reacción.

- 4) Lab. Env. Biotech.-Swiss Fed. Inst. Technol./Lab. Photoch. Moléc. et Macromoléc.-Univ. Blaise Pascal. (Suiza/Francia). Estos dos grupos han realizado experimentos diversos entre los que merece citarse la aplicación de los procesos de Foto-Fenton y TiO_2 a la degradación de precursores de subproductos de la desinfección de aguas potables, como método alternativo para la desinfección de agua, y degradación de contaminantes mediante Fe(III) . Se ha ensayado también la degradación de Diuron (plaguicida considerado como contaminante prioritario por la UE) a partir de complejos acuosos fotoexcitados de Fe(III) que generan radicales $\cdot\text{OH}$.

Los ensayos realizados en Solfin, encaminados fundamentalmente a síntesis de compuestos utilizando radiación solar, fueron:

- 1) Department of Chemistry, University of Pavia (Italia). Reacciones de adición usando nuevos sensibilizadores (pigmentos) inorgánicos (tungstates), que son compuestos substractores de hidrógeno. Se estudió la estabilidad de diferentes filtros solares que son sustancias orgánicas.
- 2) National University of Ireland (Irlanda). Funcionalización fotosensibilizada de cicloalcanos usando alquinos y reacción intramolecular de dienos utilizando sensibilizadores disueltos y soportados. Reacciones de ciclación. Diferentes alquinos con $\text{C}_5\text{-C}_6$ cicloalcanos fueron irradiados utilizando diferentes sensibilizadores poliméricos.
- 3) Faculty of Chemistry, A. Mickiewicz University (Polonia). Aplicación de sulfuro de molibdeno y oxisulfuro soportados para la producción fotocatalítica de hidrógeno a partir de agua. El soporte utilizado fue material mesoporoso de MCM-41.

Funcionalización catalizada selectiva de acetilenos terminales mediante compuestos de coordinación en medio acuoso



Fotoreactor diseñado para reacciones en tubos de Resonancia Magnética Nuclear (NMR)

Este proyecto es financiado la Dirección General de Investigación (Ministerio de Ciencia y Tecnología, Proyecto PPQ2000-1301) y ha comenzado en Diciembre de 2000. En este proyecto la Plataforma Solar participa conjuntamente con el Dep. Química Inorgánica de la Univ. de Almería (coordinador), DLR-PSA y Dep. Química Orgánica de la Universidad de La Laguna.

La catálisis homogénea en bifase (acuosa/orgánica) es la solución a muchos de los problemas tradicionales que sufre la catálisis en medio homogéneo, sin perder ninguna de sus ventajas. Los procesos son igualmente selectivos, pero al estar el catalizador disuelto en agua, los productos de la reacción, solubles en fase orgánica o insolubles en agua, se pueden separar fácilmente, pudiendo reutilizarse el catalizador repetidas veces. Por otra parte, los carbenos insaturados son intermedios importantes, muchas veces catalizadores, de procesos de formación de enlaces C-C. A pesar de los ingentes esfuerzos que se están realizando para desarrollar la química de estos compuestos debido a su importancia, prácticamente no se han sintetizado complejos carbénicos insaturados solubles en agua. Con éste proyecto se pretende el estudio de las propiedades químicas y catalíticas de los primeros vinil y aliniledos metálicos solubles en agua. También se pretende la síntesis y estudio de nuevos complejos vinil y alenilidénicos con ligandos que permitan la solubilidad de los complejos en agua, en los que las propie-

dades dadoras yceptoras de los átomos donadores, y sus propiedades tensioactivas los hagan optimos catalizadores en sistemas bifásicos. Junto con éste objetivo se ha planteado usar la radiación solar como fuente de energía para las reacciones desarrolladas en el laboratorio mediante los sistemas tradicionales. Este segundo objetivo requiere optimizar todos los parámetros y hacer de él algo práctico y rentable en el futuro, pudiendo así dar lugar en su conjunto (catálisis en bifase – energía solar) a un sistema altamente selectivo, rentable y ecológico.

Desalación solar de agua de mar

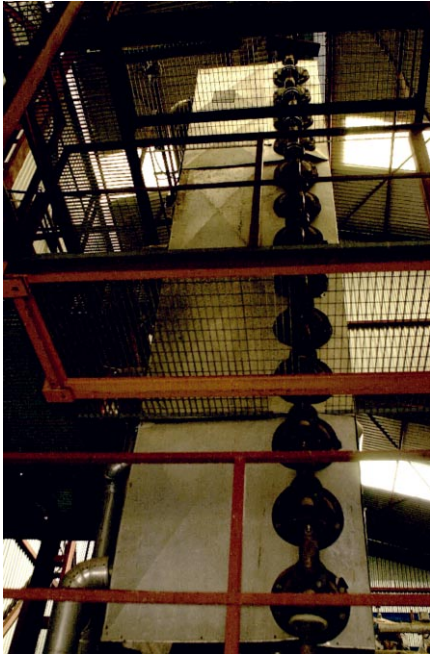
El desequilibrio regional de recursos hídricos existente en muchas zonas del área Mediterránea se traduce en el hecho de que la escasez de agua constituya un gran problema en determinadas regiones Europeas. En particular, esta cuestión cobra una especial importancia en zonas de clima semiárido, donde la falta de agua es considerada como un problema cada vez más acuciante junto con el progresivo empeoramiento de la calidad del agua disponible para consumo humano y para la agricultura. Los acuíferos constituyen el principal recurso hídrico en dichas regiones, por lo que la sobreexplotación de los mismos provoca un empeoramiento de la calidad del agua, así como una serie de problemas adicionales tales como la intrusión de agua marina en los acuíferos, salinización de suelos, desertificación, aceleramiento de los procesos de erosión, etc. Estas áreas poseen a menudo disponibilidad de agua marina así como unos buenos niveles de radiación solar, lo cual puede ser de gran utilidad para producir agua potable mediante desalinización de agua de mar. Puesto que el agua es el principal factor de desarrollo económico, la única opción sostenible a medio y largo plazo es, en la mayoría de los casos, la desalación de agua de mar a un coste aceptable. Para lograr dicho objetivo, es necesario el desarrollo de una tecnología de desalación que sea al mismo tiempo energéticamente eficiente e inocua para el medio ambiente.

Dentro del Área de Química Solar se ha conseguido recientemente la aprobación de dos proyectos de investigación en el campo de la desalación de agua de mar mediante energía solar, uno de ámbito nacional (Proyecto SOLARDESAL: Tecnología Híbrida de Desalinización Avanzada Solar-Gas basada en Colectores Solares Estáticos) y otro de ámbito europeo (Proyecto AQUASOL: Enhanced Zero Discharge Seawater Desalination using Hybrid Solar Technology).

El objetivo común de ambos proyectos es el desarrollo de una tecnología híbrida de desalación de agua de mar basada en los procesos de destilación por efecto múltiple (MED) que cumpla al mismo tiempo los principios de eficiencia energética, bajo coste y vertido nulo. A pesar de que la técnica de ósmosis inversa es un proceso apropiado para el tratamiento de aguas subterráneas salinas, su empleo para el tratamiento de aguas marinas constituye todavía una opción cara debido al hecho de que la energía necesaria para llevar a cabo el proceso aumenta exponencialmente con la concentración de sal en el caso de la ósmosis inversa. Por otra parte, los procesos de desalación convencionales producen un vertido de salmuera que tiene un importante impacto negativo en el ecosistema marino local. A pesar de que el enorme potencial de la energía solar térmica en los procesos de desalación está plenamente reconocido, esta tecnología no ha sido aún desarrollada comercialmente debido a su alto coste.

Las entidades participantes en el proyecto SOLARDESAL son: CIEMAT (coordinador), Universidad de la Laguna, INABENSA y ECOSYSTEM. La duración de este proyecto es de tres años, situándose su inicio en noviembre de 2001. Los objetivos específicos de dicho proyecto son:

- 1) Revisión y evaluación de los distintos sistemas solares estáticos (colectores parabólicos compuestos, tubos de vacío, colectores planos, estanques solares, etc)
- 2) Estudio comparativo de las diversas posibilidades del uso combinado de colectores solares estáticos y energía térmica convencional (gas) para la alimentación de una planta de destilación multiefecto.



Vista exterior de la planta con el tanque termoclino de almacenamiento térmico al fondo (arriba)

Planta de destilación multiefecto de la PSA con un total de 14 efectos (izquierda).

- 3) Estudio comparativo de las tecnologías estáticas y con seguimiento para aplicaciones a la destilación multiefecto.
- 4) Selección del sistema híbrido solar-gas más apropiado.
- 5) Implementación, ensayo y evaluación de un sistema experimental que permita la validación de la tecnología que se proponga.
- 6) Identificación de problemáticas específicas de operación en el sistema experimental implementado para posibilitar su optimización.
- 7) Evaluación técnica y económica de la tecnología propuesta, analizando los distintos costes de instalación, operación y mantenimiento.
- 8) Evaluación de los aspectos medioambientales del sistema prediseñado con relación a los sistemas y procesos convencionales.
- 9) Ofrecer alternativas al problema del déficit hídrico atendiendo a principios de economía de combustibles fósiles y respecto al medioambiente.
- 10) Divulgación y adecuada difusión de los resultados publicables del proyecto.

Las entidades integrantes del proyecto AQUASOL son: CIEMAT (coordinador), INABENSA, AOSOL (Portugal), Universidad Técnica Nacional de Atenas (Grecia), INETI (Portugal), CAJAMAR, HELLENIC SALTWORKS (Grecia), Comunidad de Regantes CUATRO VEGAS de Almería y WEIR-ENTROPIE (Francia). La duración de este proyecto es de cuatro años, dividiéndose en dos fases: una primera fase de investigación, con una duración de dos años y medio; y una segunda fase de demostración, con una duración de un año y medio. El comienzo formal del proyecto es en marzo de 2002.

El proyecto AQUASOL está enfocado en el desarrollo tecnológico de tres aspectos fundamentales, los cuales contribuirán de manera significativa a la mejora de la eficiencia tecno-económica de los sistemas de destilación multiefecto (MED) y por tanto, ayudarán a reducir el coste de la producción de agua desalada:

- 1) Desarrollo de una bomba de calor de absorción de doble efecto optimizada para el proceso MED que permita reducir el consumo energético necesario;
- 2) Reducción a cero de cualquier tipo de vertido del proceso mediante la recuperación de la sal procedente de la salmuera;

- 3) Incorporación de una fuente de suministro energético híbrido solar/gas basado en colectores solares parabólicos compuestos de alta eficiencia y bajo coste.

La resolución exitosa de los objetivos de ambos proyectos permitirá obtener importantes beneficios tanto medioambientales como sociales, ya que incluso sin tener en cuenta el aspecto medioambiental, la tecnología a desarrollar presenta un gran potencial para poder llegar a ser competitiva frente a la tecnología convencional de ósmosis inversa. Todo ello permitirá mejorar la calidad de vida de las personas constituyéndose en una herramienta efectiva que permita resolver y corregir los problemas ambientales asociados a la escasez de agua.

Formación y Acceso

Los objetivos de este proyecto se pueden encuadrar dentro de las actividades prioritarias del propio CIEMAT. Con la **participación en programas de acceso** se contribuye a la diseminación entre la comunidad científica internacional de las posibles aplicaciones de la energía solar térmica, fomentando de esa forma el que un cada vez mayor número de grupos de investigación dediquen tiempo y recursos a explorar esta opción.

De esa manera, con los resultados obtenidos se favorece la penetración de las energías renovables en general, y de la solar térmica en particular, en las estructuras industriales y económicas de la sociedad, lo cual se define como uno de los objetivos fundamentales del Departamento de Energías Renovables.



Workshop de usuarios IHP. Sesión dedicada a la Química Solar

Otro objetivo, no menos importante, de la participación de la PSA en programas de acceso a grandes instalaciones es que se contribuye a la optimización del uso de las mismas en la PSA, al aprovecharse de manera rentable tiempos muertos en los que dichas infraestructuras de investigación no son utilizadas por ninguno de los otros proyectos.

Dichos programas de acceso tienen normalmente como argumento la movilidad transnacional de investigadores así como su formación, insistiendo especialmente en el colectivo de jóvenes investigadores como beneficiarios dentro de los mismos. Este es también el principio que rige el **programa propio de formación de la Plataforma Solar de Almería**. 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 Plataforma Solar de Almería acerca de la tecnología solar térmica durante veinte años de realización de experiencias.

Por último, se asumen las siguientes funciones con relación a **la PSA cómo 'gran instalación científica de carácter internacional'**:

- Elaboración de propuestas en respuesta a convocatorias ó acciones que conciernan al centro como gran instalación científica.
- Gestión de la calidad en los servicios de carácter técnico ó científico. Incluyéndose tanto los que se prestan a los usuarios o clientes externos como los servicios del centro a los propios proyectos del CIEMAT.
- Actividades de divulgación.

Actividades dentro del programa 'Mejora del Potencial Humano de Investigación'

El programa de 'Mejora del Potencial Humano de Investigación' (IHP) es una actividad concertada con la Dirección General para la Ciencia, la Investigación y el Desarrollo Tecnológico' (DG-XII) de la Comisión Europea.

El objetivo principal de este programa es dar a la comunidad científica europea la posibilidad de utilizar cualquier gran infraestructura de investigación, sea cual sea el país donde esta se encuentre.

Dado que uno de los objetivos del CIEMAT en general, y de la PSA en particular, es contribuir a la diseminación del conocimiento acerca de las posibles aplicaciones de la energía solar térmica, este programa constituye una excelente herramienta para tal fin.

Por ello, la PSA viene participando de manera prácticamente ininterrumpida en lo sucesivos programas que, genéricamente, podemos llamar de 'acceso a grandes instalaciones' y que han sido promovidos por la DG-RDT desde 1990 en sucesivos programas marco de investigación y desarrollo tecnológico.

La vinculación con el programa IHP es por tres años, desde febrero del 2000 hasta Enero del 2002, siendo ocho las instalaciones de la PSA que se ofrecen para acceso y 68 el número total de grupos de investigación que serían recibidos al cabo de los tres años.

Como primera actividad del año, el comité de expertos independientes que realiza la selección anual de usuarios se reunió en CIEMAT-Moncloa el 20 de febrero de 2001, seleccionando a un total de 30 grupos de investigación de otros países europeos para otorgarles libre acceso a las instalaciones de ensayo de la PSA durante el año.

Por primera vez, la reunión anual de nuevos usuarios en la PSA se organizó conjuntamente con el 'workshop' de los usuarios del año anterior, buscando así un mayor aprovechamiento del evento por ambas partes. Esta evento combinado tuvo lugar en Almería durante dos días, los días 14 y 15 de marzo de 2001, con la asistencia de más de 50 investigadores. Las ponencias presentadas en el 'workshop' fueron recopiladas en un libro publicado por la editorial del CIEMAT. [Varios, 2002].



Reunión anual de nuevos usuarios del programa IHP en la PSA

Por otro lado, la Comisión Europea publicó una nueva convocatoria dentro de este programa a principios de año, pudiendo concurrir a la misma las instituciones que ya tuvieran contratos de acceso en vigor. La PSA así lo hizo y se consiguió un nuevo contrato cuyos principales parámetros son los siguientes: duración 24 meses, comienzo en marzo de 2002, financiación: 517.500 EURO (aprox. 86 MPTA), semanas de acceso ofertadas: 48.

El 2002 será el último año del programa, por lo que habrá que utilizar esta última temporada para corregir cualquier desequilibrio que haya podido producirse en los parámetros relativos a la gestión del mismo: número de usuarios comprometido, número de semanas de uso a justificar ó fondos destinados a desplazamientos y dietas de los usuarios.

Es de esperar que, tal y como se anuncia en el contrato suscrito con la DG-RDT, tenga lugar una auditoria técnica de seguimiento por parte de Bruselas.

También está previsto que se firme el nuevo contrato, IHP-Fase 2, aunque la única actividad a desarrollar será la de diseminación de la convocatoria para recibir propuestas de cara al acceso durante el año 2003.

Dentro del año 2001 se ha emitido una **propuesta de 'Acción Especial' al Plan Nacional de I+DD** con vistas a facilitar precisamente esta tarea de búsqueda de potenciales usuarios. El objeto de la propuesta es la organización en julio de 2002 de unas jornadas informativas en la PSA a las que se invitaría a representantes de aquellos grupos de investigación europeos que mostraran interés en emitir una propuesta como posibles usuarios en el 2003.

La Red de Infraestructuras Científicas 'EuroCARE'

En su afán por avanzar hacia la unificación de esfuerzos y la optimización de los recursos que se destinan a la investigación, la Comisión Europea promueve una serie de redes de infraestructuras de investigación, agrupándolas por afinidad temática.

Así, la PSA forma parte de la red 'EuroCARE', constituida por aquellos centros que se dedican a temas energéticos.

Además de la PSA, son miembros de 'EuroCARE':

- Universidad de Gales-Cardiff (coordinador-Reino Unido)
- ENEL Produzione (Italia)
- International Flame Research Foundation (Holanda)
- Federation of Aerothermodynamics and Propulsion Studies (Francia)
- Institute des Materiaux et Procedes (Francia).

Esta es también una actividad dentro del programa horizontal IHP y, dentro de ella, las tareas se estructuran en torno a tres paneles de estudio:

- Primero: Técnicas de medida y diagnóstico en procesos a alta temperatura.
- Segundo: Futuros requerimientos para la investigación. Esta es una tarea especialmente interesante, dado que el documento final que se elabore será remitido a la Comisión Europea para su consideración en el momento de elaborar las líneas básicas del 6FP para la investigación y el desarrollo tecnológico comunitarios.
- Tercero: Formación industrial en el contexto de las grandes instalaciones.

Se celebran reuniones de carácter semestral, este año se han celebrado en Livorno (Marzo) y París (Diciembre).

Los informes correspondientes al primer y segundo panel de estudio se han emitido durante el año 2001, mientras que el informe correspondiente al tercer panel se emitirá a lo largo del año 2002.



También se ha acordado crear una página 'web' donde dar difusión a los contenidos de dichos paneles de estudio y a las oportunidades relacionadas con los programas de acceso desarrollados por cada uno de los socios. Dicha página se encuentra en www.euro-energy.net.

Ya de cara al 6FP, el objetivo de 'EuroCARE' es ampliar sus actividades, incorporando nuevos socios y profundizando en la colaboración sobre la base de temas comunes de investigación.

Actividades de Formación

Los programas de acceso de la Comisión Europea DG-XII tienen normalmente como argumento la movilidad transnacional de investigadores así como su formación, insistiendo especialmente en el colectivo de jóvenes investigadores como beneficiarios dentro de los mismos.

Este es también el principio que rige el **programa propio de formación de la Plataforma Solar de Almería**. 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 Plataforma Solar de Almería acerca de la tecnología solar térmica durante veinte años de realización de experiencias.

Como objetivo dentro de este proyecto se propone continuar con esta actividad incluso reforzándola si ello fuese posible. Las actividades de formación se reconocen también como prioritarias dentro del CIEMAT.

Las actividades relacionadas con el **programa de formación** han consistido en:

- Gestión del programa de becas asociado al convenio anual con la Universidad de Almería (UAL).
- Gestión de los acuerdos asociados a las becas 'Leonardo da Vinci'.
- Gestión de diversos acuerdos específicos de colaboración educativa con otras entidades para aceptar becarios en la PSA: ENCP, U. Cambridge.....

De cara al año 2002 se espera renovar el convenio con la UAL para gestionar el programa propio de becas y también continuar la actividad del programa 'Leonardo da Vinci' para la aceptación de estudiantes extranjeros.

Representación de la PSA como Gran Instalación Científica Internacional

Esta faceta del proyecto ha registrado una intensa actividad intensa durante el año 2001.

En primer lugar hay que destacar la consecución de una ayuda de 400.000 EURO (67 MPTA) para financiar actividades de mejora de la infraestructura científica de la PSA.

Estos fondos proceden de la Secretaría de Estado de Política Científica a raíz de la aceptación de una propuesta emitida en respuesta a la convocatoria de 'Acciones Especiales' dentro del programa nacional de I+DD durante el año 2000.

La implementación de estas actividades ha tenido lugar en su mayor parte dentro del año 2001, estando una de ellas relacionada con otra de las responsabilidades del proyecto, la gestión de la calidad en los servicios que presta la PSA.

Concretamente, se han conseguido fondos para contratar la asesoría externa necesaria para llevar a cabo la primera fase de la implantación de un sistema de gestión de la calidad ISO 9000 en la gestión de servicios a clientes externos e internos de la propia PSA. Esta actividad está en línea con la que sigue el CIEMAT en este mismo sentido.



La formación de jóvenes universitarios en la tecnología solar térmica es una actividad prioritaria en la PSA



Acto de inauguración de la exposición fotográfica "Helióstatos"

Por otro lado hay que reseñar que se han llevado a cabo varias iniciativas de carácter divulgativo. La primera de ellas ha consistido en la firma de un convenio marco para la colaboración con el 'Instituto de Estudios Almerienses' en temas de interés común. El primer fruto de este acuerdo ha sido la celebración en paralelo de la exposición fotográfica 'Helióstatos' y del ciclo de conferencias 'Las tecnologías de la Plataforma Solar de Almería'. Ambas actividades han tenido lugar en el Palacio de la Diputación Provincial de Almería, durante la segunda quincena de septiembre de 2001.

También se han llevado a cabo dos acciones encuadradas dentro de la celebración a nivel europeo de la 'Semana de la Ciencia y la Tecnología', del 5 al 18 de noviembre de 2001. La primera de ellas ha consistido en el traslado del helióstato autónomo 'Colón Solar' desde la PSA hasta un lugar céntrico de la ciudad de Almería y exponerlo allí durante la 'Semana...'. También se han expuesto posters y un video divulgativo sobre la PSA y se han distribuido folletos del CIEMAT e INABENSA, fabricante del helióstato.

El prototipo de helióstato autónomo en su emplazamiento de la ciudad de Almería durante la "Semana de la Ciencia y la Tecnología 2001"



La segunda acción ha consistido en unas jornadas de puertas abiertas las cuales tuvieron lugar los días 8 y 9 de noviembre.

Actividades de ensayo en el Horno Solar

El Horno Solar es una instalación de ensayo dedicada al tratamiento térmico de materiales. Está adscrita a este proyecto porque la mayor parte de su actividad está relacionada con usuarios externos.



Vista exterior del Horno Solar de la PSA

Como primera línea de trabajo, hay que decir que durante el año 2001 se ha conseguido financiación dentro del programa europeo de cooperación científica con países terceros, INTAS 2000, para llevar a cabo el proyecto titulado 'Development of Numerical and Experimental Methods of Investigation of Heat Transfer in Porous Thermal Protection Materials'.

Los otros socios de esta propuesta son:

➤ ASTRIUM GmbH (Ale-

mania, coordinador),

- Ecole Nationale Supérieure de Mécanique et d'Aérotechnique (Francia),
- Central Aero-Hydrodynamic Institute (Rusia),
- Bauman Moscow State Technical University (Rusia)
- A.V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute of the National Academy of Sciences of Belarus (Bielorusia).

En este año se ha firmado el contrato con Bruselas y han comenzado las actividades.

Por otra parte, y como línea principal de actividad, esta instalación recibe cada año a un número variable de grupos de investigación (entre 3 y 5) a través del programa IHP.

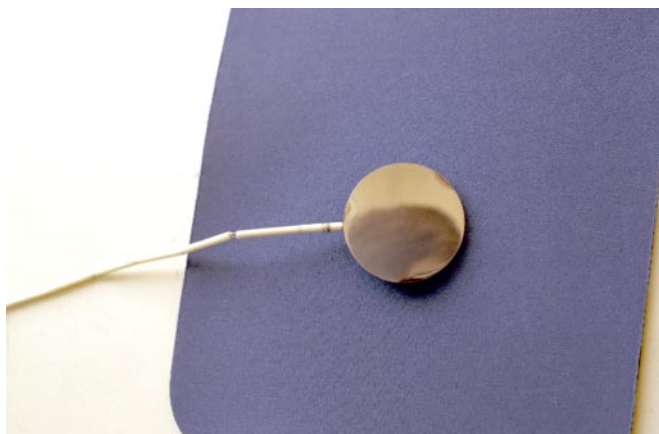
Durante el año 2001, el grupo de materiales de la PSA ha colaborado estrechamente con personal investigador de las siguientes instituciones:

- Universidade do Minho –UM- de Braga (Portugal)
- Instituto Lituanio de Energía –LEI- de Kaunas (Lituania)
- Instituto Superior Técnico –IST- de Lisboa (Portugal)
- Universidad Tecnológica de Helsinki –HUT- (Finlandia)

Se han realizado diversas campañas de ensayos a distintos tipos de probetas metálicas y cerámicas, con y sin recubrimiento, tanto en atmósferas controladas como al aire y cubriendo rangos de temperatura entre los 450 °C y los 1.650 °C.

Los ensayos realizados para la '**Universidade do Minho**' han estado dirigidos al tratamiento de superficies y al choque térmico a muy alta temperatura de probetas provistas de recubrimientos cerámicos que sirven de barrera térmica en materiales destinados a aplicaciones avanzadas de alto interés como las turbinas de gas.

Una forma de aumentar la eficiencia de la conversión energética en motores de turbina de gas es aumentando la temperatura de combustión y reduciendo el sistema de refrigeración. El objetivo principal de los ensayos ha sido el desarrollo y estudio del comportamiento termo-mecánico de nuevos recubrimientos nanoestructurados multicapa de



Ejemplo de muestra ensayada para Universidade do Minho

composite avanzado, para la protección de componentes trabajando en estas condiciones. Los recubrimientos de barrera térmica (TBC) consisten normalmente en un fino recubrimiento cerámico superior (ZrO_2 , Y_2O_3) depositado mediante pulverización de plasma atmosférico (APS) sobre una superaleación de Ni con pre-recubrimiento metálico de adhesión (normalmente NiCrAlY) aplicado por pulverización de plasma en vacío (VPS).

El principal foco de interés de este grupo es la investigación y el desarrollo de tecnología de deposición física

en fase vapor –PVD– para la producción de nuevos recubrimientos funcionales alternativos, además del desarrollo de técnicas de caracterización avanzada en Evaluación No-Destructiva –NDE–.

En relación con los ensayos realizados para el **Instituto Lituano de Energía (LEI)**, primeramente hay que decir que las películas delgadas de óxido de zirconio son excelentes candidatos para su aplicación como recubrimiento en diversos materiales y aplicaciones, por ejemplo como recubrimiento de barrera difusora en reactores de energía nuclear, capas protectoras en herramientas metálicas, capas de aislamiento en microelectrónica, filtro óptico, en tecnología de sensores y, en forma estabilizada, en pilas de combustible sólido (SOFC).

El trabajo del LEI está enfocado hacia la investigación de las posibilidades de las técnicas de deposición física (PVD) para desarrollar diferentes partes de SOFC, para lo que se emplean técnicas como la pulverización por plasma, pulverización magnética o una combinación entre pulverización magnética y arco de descarga.

Una célula de combustible sólido consiste básicamente en una membrana densa de ZrO_2 estabilizada con Y_2O_3 –YSZ– y electrodo poroso. El objetivo de esta campaña ha sido investigar las posibilidades de sintetizar películas delgadas de YSZ a partir de una capa predepositada de Zr-Y, mediante tratamiento térmico al aire en el Horno Solar.

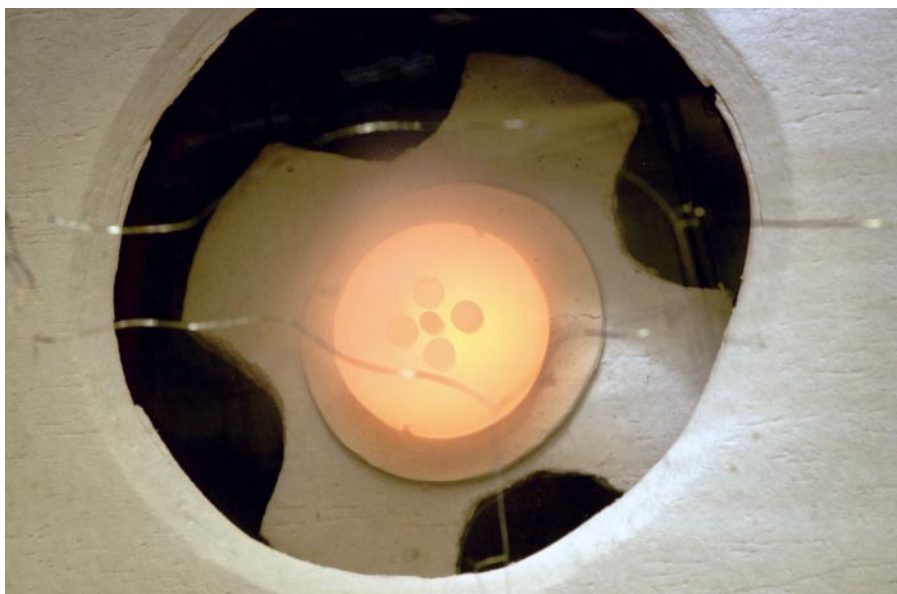
Durante esta primera campaña de ensayos con el LEI, se realizaron 55 tests a probetas compuestas por distintos sustratos –acero, cuarzo, Si– y recubrimientos de Zr-Y y Al_2O_3 . Posteriormente se ha caracterizado la microestructura superficial mediante técnicas como XRD, AFM y SEM. Posteriormente se realizó una segunda campaña de ensayos para este mismo instituto, de nuevo centrándose en aplicaciones del zirconio.

Las aleaciones de zirconio se usan en la construcción del núcleo de reactores nucleares que operan a alta temperatura y presión. En servicio, la corrosión del zirconio lleva a la captura de hidrógeno y la formación de hidruros en matriz de Zr. La presencia de hidruros es un factor importante para la fragilización potencial –rotura retardada del hidruro y formación de burbujas de hidruro– de los componentes fabricados con estas aleaciones.

Con los ensayos llevados a cabo en esta segunda campaña con LEI se pretende estudiar el comportamiento del hidrógeno en las aleaciones de Zr y los cambios estructurales en condiciones de choque térmico, así como la caracterización y análisis de diferentes microestructuras y propiedades de estas aleaciones. La modelización y aplicación de metodologías predictivas para las aleaciones de Zr sometidas a tratamiento térmico es también objetivo de estos ensayos. El total de tests realizados durante esta campaña fue de 42 a probetas de aleación de Zr-2.5Nb con contenidos de H_2 hasta de 150 ppm.

Los ensayos realizados con el **Instituto Superior Técnico de Lisboa (IST)** en cambio, han estado dirigidos a la obtención de carburos y carbonitruros de Si y de los metales del gru-

po de transición "d", excepto el Hf, mediante síntesis solar, por exposición de las muestras al alto flujo energético del Horno Solar.



Montaje realizado para ensayar cuatro muestras de IST simultaneamente

Los resultados obtenidos hasta ahora muestran interesantes evidencias que indican que los hornos solares presentan una gran potencialidad, aún por explotar, de ser usados como nuevos reactores para la síntesis solar de materiales que no pueden ser producidos por la industria tradicional o procesándolos en laboratorio.

Durante esta campaña se llevaron a cabo 20 ensayos en los que se trataron probetas de W+aC y de Cordierita. La primera serie de muestras fueron expuestas al foco en la 'MiniVac', mini cámara de vacío, en flujo de Ar a 1.5 bar y 1600°C de temperatura durante media hora. Las muestras de la segunda tanda fueron expuestas durante el mismo tiempo que las primeras, pero a 775°C en condiciones de presión ambiental al aire en posición horizontal.

La última campaña de ensayos de la temporada se realizó para el grupo de la **Universidad Tecnológica de Helsinki (HUT)**. En operaciones de trabajo en caliente tales como el forjado, las herramientas tienden a fallar, como sucede cuando se forjan materiales en



Piezas del HUT dentro de la cámara de vacío, antes de su tratamiento térmico mediante luz solar concentrada

polvo o premanufacturados. El forjado en caliente es un método cada vez más utilizado, por ejemplo en materiales premanufacturados extruidos. Durante el forjado en caliente, las herramientas son rápidamente calentadas y enfriadas a la vez que sometidas a fuerzas de compresión, lo que provoca su fallo, además hay que considerar las condiciones entre la herramienta de corte y la pieza que se mecaniza.

En esta campaña de ensayos se está investigando la reacción de la pieza que se trabaja con la herramienta de corte, con tres materiales diferentes en polvo. El objetivo de los ensayos es examinar el grado de difusión del cobre y aluminio en polvo en condiciones simuladas de forjado y el sinterizado de AlSiNi en polvo.

Las probetas se prepararon en el laboratorio mediante la compresión del polvo entre dos cilindros de acero dentro de un tubo también de acero. En este proceso los extremos de los tubos quedaron sellados y el polvo comprimido.

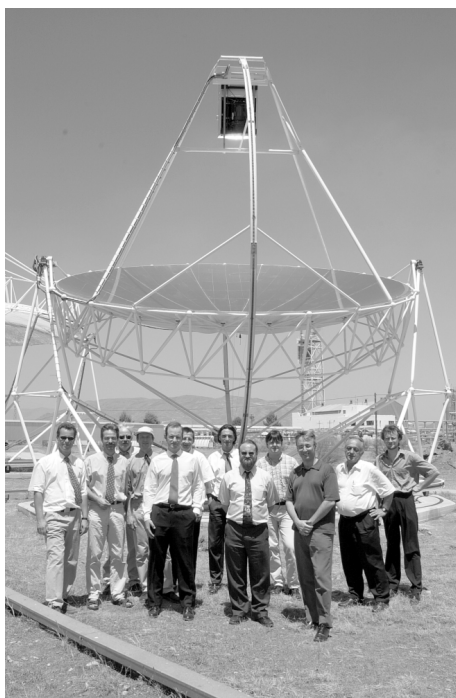
Durante la campaña de ensayos se llevaron a cabo diversos ciclos con temperaturas y tiempos diferentes. Se hicieron 13 tests en cada uno de los cuales se trataron 3 probetas con un total de 39 probetas ensayadas, 13 probetas para cada tipo de material en polvo.

Actividades de ensayo en la instalación DISTAL

Al igual que ocurre con el Horno Solar, la instalación dedicada al ensayo y evaluación de sistemas de disco parabólico y motor Stirling –DISTAL–, está adscrita a este proyecto porque la mayor parte de las actividades desarrolladas tienen relación con usuarios externos al CIEMAT.

En primer lugar tenemos el proyecto 'EuroDISH', con financiación del programa 'JOULE' de la Comisión Europea. Este proyecto ha venido desarrollándose en la PSA desde 1997 hasta este año 2001 y el objetivo del mismo ha sido el desarrollo y demostración de la tercera generación de estos sistemas, buscando una considerable reducción de los costes de producción y mantenimiento, a la vez que un aumento en su fiabilidad y autonomía.

Los socios del proyecto 'EuroDISH': MERO, Klein & Stekl, Schlaich-Bergermann und partner y DLR-PSA (Alemania), Inabensa y CIEMAT-PSA (España).



Reunión final e inauguración de nuevas unidades del proyecto "EuroDISH"

El 26 de julio de 2001 tuvo lugar en la PSA la reunión final del proyecto con la asistencia de representantes de todos los socios, incluyendo al oficial científico de la DG-XII en Bruselas, el Sr. Philippe Schild, quien transmitió el visto bueno final de Bruselas al coordinador del mismo, Sr. Wolfgang Schiel de 'Schlaich, Bergermann und Partner'. También se presentaron los resultados obtenidos mediante la distribución del informe final del proyecto. [Schiel et al., 2001].

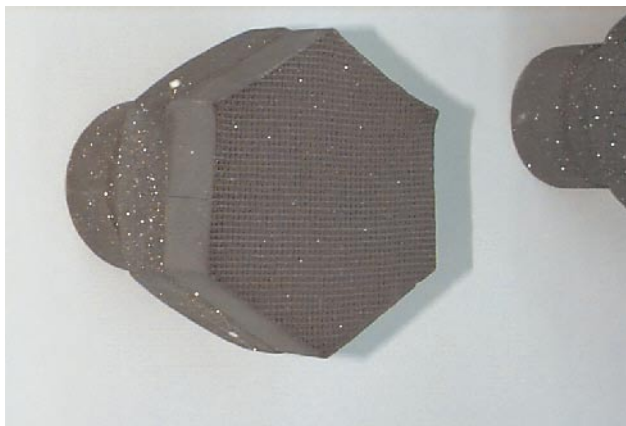
La continuación de las actividades en esta instalación de la PSA depende ahora de una toma de decisiones en el CIEMAT acerca de la línea a seguir.

La instalación DISTAL también recibe a grupos de investigación externos dentro del programa de acceso IHP. En concreto este año se ha colaborado con investigadores de la empresa danesa 'HelioTech Aps'.

El carburo de silicio SiC se confirma como uno de los materiales más adecuados para la fabricación de receptores solares de tipo volumétrico para los sistemas de receptor central de generación eléctrica termo-solar.

Este material viene siendo ensayado por 'HelioTech' desde los años 90, siendo aún necesario el evaluar su durabilidad en condiciones de servicio.

Con esta pretensión se montó en la unidad DISTAL I un soporte consistente en un tubo de doble pared de acero inoxidable y alrededor de 1 m de longitud, para soportar las probetas cerámicas en el foco del disco. El tubo además incorpora un intercambiador de calor multitubo y un ventilador. La parte frontal que soporta la copa cerámica –probeta- es de Incoloy y puede desmontarse del tubo. Al otro extremo lleva un ventilador desmontable adecuado para muy altas temperaturas ($>900\text{ }^{\circ}\text{C}$) y de velocidad variable que succiona aire a través del sistema.



Elemento cerámico de un receptor volumétrico

El objetivo de estos ensayos es someter al material a la máxima temperatura de operación para comprobar su durabilidad. La temperatura máxima prevista de los módulos en condiciones reales de operación (como parte de un receptor de torre) es de $650\text{ }^{\circ}\text{C}$. Los ensayos de los módulos cerámicos (copas) en DISTAL I se han realizado a temperaturas entre $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$.

La campaña de durabilidad llevada a cabo en el disco sobre una probeta de SiC de base cuadrada ($127 \times 127 \times 62\text{ mm}$) y perforada a modo de rejilla para el paso de aire a su través, incluyó 43 horas de ensayo a lo largo de siete días de operación. Al final de los cuales la probeta quebró por estrés térmico.

Referencias y Documentación

Augugliaro V., Baiocchi C., Bianco-Prevot A., Brussino M.C., Cáceres J., García-López E., Loddó V., Malato S., Marci G., Palmisano L., Pramauro E. (2001). Photocatalytic degradation of organic dyes under solar irradiation: oxidation of methyl-orange and orange II in aqueous suspension of titanium dioxide powder. En *Improving Human Potential Programme, Proceedings of 1st Users Workshop*, Almería, 15 Marzo 2001, pp. 27-34, CIEMAT, Madrid.

Baonza F., Marcos M.J., Romero M., Izquierdo M. (2000), " Integración de pequeñas Plantas Solares de Torre en Sistemas de Cogeneración Aislados", Colección Documentos CIEMAT, CIEMAT, Madrid, noviembre 2000, ISBN: 84-7834-380-6.

Blanco J. (2001), "Aplicaciones Químicas de la Radiación Solar". En *Tecnologías Energéticas e Impacto Ambiental*, pp. 301-319. Ed. McGraw Hill Profesional, Madrid. ISBN: 84-481-3360-9.

Blanco J., Malato S. (2001). Reciclado de envases de pesticidas en la provincia de Almería con la ayuda de la radiación solar. *Phytoma* 130, 75-77.

Blanco, J.; Malato, S.; Fernández, P.; Vidal, A.; Morales, A.; Trincado, P.; Oliveira, J.C.; Minero, C.; Musci, M.; Casalle, C.; Brunotte, M.; Tratzky, S.; Dischinger, N.; Funken, K.-H.; Sattler, C.; Vincent, M.; Collares-Pereira, M.; Mendes, J.F.; Rangel, C.M. (2001a). Solar Detoxification Technology to the Treatment of non-Biodegradable Hazardous Water Contaminants. *Proceedings of the International Joint Workshop on Recycling and Sustainable Development*. P.A. Riveros and J.E. Dutrizac (Eds). Montreal, Canada. April 23-26, 2001; pp. 437-466.

Buck R., Bräuning T., Denk T., Pfänder M., Schwarzbözl P., Tellez F. (2001), Solar-Hybrid Gas Turbine-Based Power Tower Systems (Refos), in *Solar Engineering 2001-Proceedings of the ASME International Solar Energy Conference*, Washington D.C., April 21-25, 2001, Editor: S.J. Kleis and C.E. Bingham, Editorial: ASME, New York, 2001.

Ciemat, *Catálogo de Capacidades 1997*; 2 Vol., Nipo:238-97-004-1, Madrid, Ciemat, 1997.

Fernández V., Silva M. and Romero M. (2001), "WinDelsol 1.0", *Proc. of the 15th Task III Meeting within IEA SolarPACES on Solar Technology and Applications*, Cologne, Germany, 19 June 2001; SolarPACES Tech. Report. Ed. DLR-Cologne (Germany)

Funken K.-H., Sattler C., Milow B., de Oliveira L., Blanco J., Fernández P., Malato S., Brunotte M., Dischinger N., Tratzky S., Musci M., de Oliveira J.C. (2001). A comparison of prototype compound parabolic collector-reactors (CPC) on the road to SOLARDETOX technology. *Wat. Sci. Technol.* 44(5), 271-278.

García G., Egea A. (2000), "El helióstato autónomo"; *Informes Técnicos CIEMAT-942*. CIEMAT, Madrid, octubre 2000, 83 páginas. ISSN: 1135-9420.

García G., Egea A., Romero M., Gázquez J.A. (2000), " The stand-alone heliostat first operation results". *Proceedings Solar Thermal 2000-Renewable Energy for the New Millennium Conference*, Sydney, Australia, 8-10 March, 2000. Eds: H. Kreetz, K. Lovegrove and W. Meike; Australian and New Zealand Solar Energy Society, Sydney; pp. 165-170.

García, G; Egea, A. Angular measurements system II, Euro-trough Project. Informe interno R04/01GG AE. Almería, España, Plataforma Solar de Almería, 2001.

García, G; Egea, A. Sun Tracking Local Control EuroTrack 2000. Technical characteristics. Informe interno R01/01GG AE. Almería, España, Plataforma Solar de Almería, 2001.

Gernjak W., Krutzler T., Malato S., Cáceres J., Bauer R.. (2001). Applicability of the Photo-Fenton reaction for treating water containing natural phenolic pollutants. En Improving Human Potential Programme, Proceedings of 1st Users Workshop, Almería, 15 Marzo 2001, pp. 11-18, CIEMAT, Madrid.

Guillén, C.; Martínez, M.A.; San Vicente, G.; Morales, A.; Herrero, J.; Leveling effect of sol-gel SiO₂ coatings onto metallic foil substrates. *Surface and Coatings Technology* .Vol. 138: pp. 20-210. 2001

Heller, P., Reinalter, W. y Martínez-Plaza, D., Status of development of the dish/Stirling systems at Plataforma Solar de Almería, 10th International Stirling Engine Conference. Osnabrück, Alemania, Septiembre, 2001.

Hoffschmidt B., Fernández V., Konstandopoulos AG, Mavroidis I., Romero M., Stobbe P., Téllez F (2001), "Development of Ceramic Volumetric Receiver Technology". Libro: Solar Thermal Power Plants and Solar Chemical Processes-5th Cologne Solar Symposium, Colonia, Alemania, 21 junio 2001. Ed. K.H. Funken and W. Bucher. Editorial: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Colonia, 2001, Forschungsbericht 2001-10, pp. 51-61. ISSN: 1434-8454.

Improving Human Potential Programme, Proceedings of the 1st Users Workshop Martínez Plaza, D. (ed.), March 15, 2001, Almería. Editorial CIEMAT. ISBN: 84-7834-407-1.

Malato S., Blanco J., Campos A., Cáceres J., Carrión A. (2001a). Reciclado de envases plásticos de plaguicidas. Descontaminación del agua de lavado. *Revista de Plásticos Modernos* 542, 162-170.

Malato S., Blanco J., Estrada C. A. y Bandala E. R.. (2001e). Degradación de plaguicidas. En Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogénea, M.A. Blesa (ed.), Capítulo 12, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), Digital Grafic, La Plata, Argentina.

Malato S., Blanco J., Fernández-Ibáñez P., Cáceres J. (2001c). Treatment of 2,4-dichlorophenol by solar photocatalysis: comparison of coupled photocatalytic-active carbon vs. active carbon. *J. Solar En. Engin.* **123**, 138-142.

Malato S., Blanco J., Vidal A., Fernández P., Cáceres J., Trincado P., Oliveira J. C., Vincent M.. New large solar photocatalytic plant: set-up and preliminary results. *Chemosphere*. En prensa, b.

Malato S., Blanco J., Vidal A., Richter C.. Photocatalysis with Solar Energy at a Pilot-Plant Scale: An Overview . *Appl. Catal. B: Environ.* En prensa, a.

Malato S., Cáceres J., Agüera A., Mezcua M., Hernando D., Vial J., Fernández-Alba A. R. (2001b). Degradation of imidacloprid in water by photo-Fenton and TiO₂ photocatalysis at a solar pilot plant: a comparative study. *Env. Sci. Technol.* **35**, 4359-4366.

Malato S., Maldonado M.I., Blanco J. (2001d). Descontaminación de aguas de lavado de plaguicidas mediante fotocatálisis solar. CIEMAT, Madrid, Spain.

Marcos M.J., Romero M., Baonza F. and Izquierdo M. (2000), "Integration of Small Solar Tower Systems into Distributed Utilities". Libro: SOLAR ENGINEERING 2000-Proceedings of the ASME International Solar Energy Conference, Madison, Wisconsin, June 16-21, 2000, Editor: J.D. Pacheco and M.D. Thornbloom, Editorial: ASME, New York, 2000. ISBN: 0791818799.

Martínez Plaza, D. y Rodríguez, J.. Tratamiento superficial de materiales mediante luz solar concentrada: una opción mediante energías renovables, *Revista de Metalurgia*, CENIM (CSIC), 34 (2), 1998, 104 a 108.

Neumann, A., Flux densities in the focal region of the PSA Solar Furnace, SolarPACES Report TR-III-2/94.

Parra S., Malato S., Blanco J., Péringier P., Pulgarin C. (2001). Concentrating versus non-concentrating reactors for solar photocatalytic degradation of p-nitrotoluene-o-sulfonic acid. *Wat. Sci. Technol.*, 44(5), 219-227.

Rheinländer, M. Eck, T. Möllensted, M. Schuischel, D. West. DISS Preliminary report on DSG test results. Informe técnico DISS-SC-MI-02. Almería, España, Plataforma Solar de Almería, 2000

Rodríguez, J., Martínez, D., Guerra, L., Cruz, Amaral y Shohoji, Photochemical effects in synthesis of d-group transition metals in a Solar Furnace at Plataforma Solar de Almería.. *Journal of Solar Energy Engineering*, Vol. 123, Mayo 2001, pgs. 109 a 116.

Romero M. (2001), "Heliostats development in Spain", Proc. of the 15th Task III Meeting within IEA SolarPACES on Solar Technology and Applications, Cologne, Germany, 19 June 2001; SolarPACES Technical Report. Ed. DLR-Cologne (Germany).

Romero M., Marcos M.J., Dominguez J., Osuna R., Fernández V., Mendoza S. y Esteban L. (2001), "Central Eléctrica Mixta Solar-Biomasa", *Colección Documentos CIEMAT*, CIEMAT, Madrid, diciembre 2001. ISBN: 84-7834-411-x

Romero M., Marcos M.J., Osuna R. and Fernández V. (2000b)," Design and Implementation Plan of a 10 MW Solar Tower Power Plant based on Volumetric-Air Technology in Seville (Spain)". Libro: SOLAR ENGINEERING 2000-Proceedings of the ASME International Solar Energy Conference, Madison, Wisconsin, June 16-21, 2000. Editor: J.D. Pacheco and M.D. Thornbloom, Editorial: ASME, New York, 2000. ISBN: 0791818799.

Romero M., Marcos M.J., Téllez F.M., Blanco M., Fernández V., Baonza F. and Berger S. (2000a), "Distributed power from solar tower systems: A MIUS approach", *Solar Energy*, 67 (4-6) 249-264.

Romero M., Zarza E., Blanco M. (2001),"Centrales Eléctricas Termosolares". En *Tecnologías Energéticas e Impacto Ambiental*, pp. 259-282. Ed. McGraw Hill Profesional, Madrid. ISBN: 84-481-3360-9.

Sarria V., Menkari L., Parra S., Adler N., Peringer P., Pulgarin C., Vazquez J., Blanco J. y Malato S. (2001). Coupled photochemical-biological system useful in the complete mineralization of a biorecalcitrant wastewater pollutant. En *Improving Human Potential Programme, Proceedings of 1st Users Workshop*, Almería, 15 Marzo 2001, pp. 3-10, CIEMAT, Madrid.

Schwarzbözl P., Buck R., Pfänder M., Téllez F. (2001), "Solar-Hybrid Gas Turbine Systems using Pressurized Volumetric Air Receiver Technology (REFOS)". Libro: Solar Thermal Power Plants and Solar Chemical Processes-5th Cologne Solar Symposium, Colonia, Alemania, 21 junio 2001. Ed. K.H. Funken and W. Bucher. Editorial: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Colonia, 2001, Forschungsbericht 2001-10, pp. 68-70. ISSN: 1434-8454.

SolarPACES (1996), "Solar Termal Test Facilities". Colección Documentos CIEMAT. Ed. CIEMAT. ISBN: 84-7834-310-5.

Szulbiński W. S., Malato S., Gernjak W. (2001a). Photocatalytic water decontamination by the zeolite-γ entrapped ruthenium tris-2,2'-bipyridine complex. En *Improving Human Potential Programme, Proceedings of 1st Users Workshop*, Almería, 15 Marzo 2001, pp. 19-26, CIEMAT, Madrid.

Szulbiński W.S. and Malato S. (2001b). Photocatalytic wastewater treatment using the zeolite-γ entrapped ruthenium tris-2,2'-bipyridine complex. *Pol. J. Chem.*, 75, 1543-1551.

Téllez F.M., Marcos M.J., Romero M. (2001),"Design of 'Sirec-1' wire mesh open volumetric solar receiver prototype". Libro: SOLAR ENGINEERING 2001-Proceedings of the ASME International Solar Energy Conference, Washington D.C., April 21-25, 2001, Editor: S.J. Kleis and C.E. Bingham, Editorial: ASME, New York, 2001.

Valenzuela, L. Description of the DISS control & data acquisition system. L. Valenzuela. Informe técnico DISS-EN-CD-04. Almería, España, Plataforma Solar de Almería, enero 2002

Valenzuela, L. DISS data files format- issue 4.0. Informe técnico DISS-OP-CD-01. Almería, España, Plataforma Solar de Almería, 2001

Valenzuela, L. et al., Checking of the DISS collector tracking system. Informe técnico DISS-TE-SF-02. Almería, España, Plataforma Solar de Almería, 2000

Valenzuela, L. Modeling and control of One-through mode. Informe técnico DISS-TE-SF-04. Almería, España, Plataforma Solar de Almería, enero de 2002

Valenzuela, L. Modeling and control of recirculation mode (PI/PID Control based scheme). Informe técnico DISS-TE-SF-03. Almería, España, Plataforma Solar de Almería, 2001

Vidal, A, Trincado, P, Jerez, M, Vincent, M, Blanco, J, Malato y Fernandez, P. (2001c). Oxidación Solar Fotocatalítica. Aplicación al tratamiento de efluentes cianurados. *Ingeniería Química*, 375. pp. 161-165.

Vidal, A. y Martín-Luengo M.A. (2001a). "Inactivation of titanium dioxide by sulphur: Photocatalytic degradation of Vapam. *Appl. Catalysis B: Environmental*, 32, 1-9.

Vidal, A.; Jurado, J.R y Colomer, M. (2001b). Solar Energy Storage. Photocatalytic carbon dioxide reduction. First International Conference on Semiconductor Photochemistry. 23rd-25th July, Glasgow.

Vidal, A; Malato, S. y Blanco, J. (2002). Procesos Solares Fotoquímicos: Aplicación al tratamiento de aguas de lavado de envases de pesticidas. Número especial de la revista *Ingeniería Química* "Tratamiento de aguas". Enero 2002.

Zarza, E. Colectores Cilindroparabólicos. Conceptos básicos y Generalidades. Informe interno R08/01EZ. Almería, España, Plataforma Solar de Almería, 2001.

Zarza, E et al. Project DISS-phase II: semestrial progress report covering the period December 2000, May 2001. Informe técnico DISS-MQ-QA-45. Almería, España, Plataforma Solar de Almería, 2001

Lista de Acrónimos

AFM	Microscopio de fuerza atómica
AICIA.....	Asociación de Investigación y Cooperación Industrial de Andalucía
AIE	Agencia Internacional de la Energía
ATYCA.....	Iniciativa de Apoyo a la Tecnología, la Seguridad y la Calidad Industrial
BOE.....	Boletín Oficial del Estado
BRITE EURAM	Programa de tecnologías industriales y de materiales de la CE
CCP	Colector cilindroparabólico
CE.....	Comisión Europea
CESA	Central Electrosolar de Almería
CET	Centrales Eléctricas Termosolares
CG-MS	Cromatografía de gases acoplado a masas
CIEMAT	Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique (F)
COT	Carbono Orgánico Total
CPC.....	Colector Parabólico Compuesto
CRES.....	Centro de Fuentes Renovables de la Energía (Gr)
CRS.....	Sistema de Receptor Central
CSIC	Consejo Superior de Investigaciones Científicas
CYTED	Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo
CHA.....	Convenio Hispano-Alemán
DBO.....	Demanda de bioquímica de oxígeno
DCS	Sistema de colectores distribuidos
DER.....	Departamento de Energías Renovables del CIEMAT
DG RDT	Directorado General Investigación, Desarrollo, Tecnología

DG TREN	Directorado General de Transporte y Energía
DISS.....	Vapor Solar Directo
DISTAL.....	Instalación de Ensayo de Discos de Almería
DLR	Agencia Aeroespacial Alemana
DQO	Demanda química de oxígeno
EHN.....	Energía Hidroeléctrica de Navarra
ETH	Escuela Politécnica de Zurich
FAIR	Programa de Investigación y Desarrollo Tecnológico de Agricultura y Agroindustria incluida Pesca
FEDER	Fondo Europeo de Desarrollo Regional
FID.....	Detector de ionización por llama
FV.....	Fotovoltaica
HDPE	Polietileno de alta densidad
HitRec	High Temperature Receiver
HTF	Fluido de transferencia de calor
I+D	Investigación y desarrollo
IAER	Instituto Andaluz de Energías Renovables
ICMAB.....	Institut de Ciència de Materials de Barcelona (CSIC)
ICP	Instituto de Catálisis y Petroleoquímica (CSIC)
IHP	Mejora del Potencial Humano de Investigación (CE)
INABENSA	Instalaciones Inabensa, S.A.
INETI.....	Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial (Portugal)
INTA	Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial
IPH	Programa "Improving Human Potential" de la CE DG RDT
LAGAR	Recuperación de Agua Residual de Almazara después de Destoxificación y Desinfección Fotocatalítica
LECE	Laboratorio de Ensayo Energético de Componentes de la Edificación
LS-3	Coletores "Luz System 3"
MBB	Messerschmitt Bolkow-Blohm
MCYT.....	Ministerio de Ciencia y Tecnología
MED.....	Destilación en múltiple efecto
O+M	Operación y mantenimiento
PAR.....	Radiación fotosintéticamente activa
POA.....	Procesos de Oxidación Avanzada
PROFIT.....	Programa de Fomento de la Investigación Técnica
Prohermes II	Programmable Heliostat and Receiver Measuring System II
PS10.....	10 MW Solar Thermal Power Plant for Southern Spain

PSA	Plataforma Solar de Almería
REFOS	Receptor volumétrico para sistemas de ciclo combinado híbridos gas/solar
RSU	Resíduos sólidos urbanos
SBP	Schlaich Bergermann und Partner
SEGS	Solar Electric Generating Systems
SEM	Microscopio electrónico de barrido
SENER	SENER Grupo de Ingeniería S.A.
SIG	Sistemas Integrados de Gestión
SIREC	Sistemas Termosolares de Receptor Central
SOLAIR	Receptor Solar Volumétrico de Aire Avanzado para Plantas Comerciales de Torre Central
SOLAUT	Generación Eléctrica Termosolar mediante Módulos Autónomos
SOLFIN	Síntesis Solar de Productos Químicos Finos
SOLGATE	Solar hybrid gas turbine electric power system
SSPS	Pequeños Sistemas de Energía Eléctrica Solar (AIE)
STC	Sociedad para la Comunicación Técnica (DK)
STEC	Componente termosolar eléctrico
TCD	Detector de conductividad térmica
TNO	Organización de los Países Bajos para Investigación Científica Aplicada
TRAWMAR	Targeted Research Action on Waste Minimization and Recycling
TRC	Tecnología De Receptor Central
TRNSYS	Transient Energy System Simulation Tool
TSA	Programa de Tecnología de Receptor Solar de Aire
TUMA	TUMA Turbomach S.A.
TUW	Univ. Técnica de Viena (Austria)
UAB	Universidad Autónoma de Barcelona
UNED	Universidad Nacional de Educación a Distancia
UV	Ultravioleta
VIS	Espectro de Irradiación Visible
VOC	Compuesto Orgánico Volátil
XRD	X-ray diffraction
ZSW	Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung

Lista de Contactos

Director

Dr. Manuel Romero Álvarez
Tel: +34 950 387913/4
Fax: +34 950 365300
e-mail: manuel.romero@ciemmat.es

Departamento de Administración

Rafael de Haro Carreño
Tel: +34 950 387918
Fax: +34 950 365300
e-mail: rafael.dehara@psa.es

Gabinete de Apoyo Técnico

José Antonio Rodríguez Povedano
Tel: +34 950 387933
Fax: +34 950 365300
e-mail: joseantonio.rodriguez@psa.es

PROYECTOS I+D

Formación y Acceso

Diego Martínez Plaza
Tel: +34 950 387950
Fax: +34 950 365015
e-mail: diego.martinez@psa.es

Química Solar

Julián Blanco Gálvez
Tel: +34 950 387939
Fax: +34 950 365015
e-mail: julian.blanco@psa.es

Tecnologías de Colector Cilindro-pa- rabólico

Eduardo Zarza Moya
Tel: +34 950 387931/2
Fax: +34 950 365300
e-mail: eduardo.zarza@psa.es

Tecnologías de Receptor Central

Manuel Romero Álvarez
Tel: +34 950 387913/4
Fax: +950 365300
e-mail: manuel.romero@ciemmat.es

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA, INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS

Informática

Luis José Yebra Muñoz
Tel: +34 950 387923
Fax: +34 950 365015
e-mail: +luis.yebra@psa.es

Ingeniería Civil y Seguridad

Bernabé Calatrava López
Tel: +34 950 387946
Fax: +34 950 365015
e-mail: bernabe.calatrava@psa.es

Mantenimiento

José Manuel Molina Villalba
Tel: +34 950 387942
Fax: +34 950 365015
e-mail: jmanuel.molina@psa.es

Operación

Antonio Valverde Cantón
Tel: +34 950 387945
Fax: +34 950 365300
e-mail: antonio.valverde@psa.es

Instrumentación

Ginés García Navaja
Tel: +34 950 387925
Fax: +34 950 365015

ATENCIÓN A VISITANTES

Ma. Eugenia Prior Rueda
Tel: +34 950 387900
Fax: +34 950 365300
e-mail: meugenia.prior@psa.es