

Plataforma
Solar de
Almería



Informe Anual 2002



MINISTERIO
DE CIENCIA
Y TECNOLOGÍA

Ciemat Centro de Investigaciones
Energéticas, Medioambientales
y Tecnológicas

Índice

Introducción	5
Presentación General	7
La PSA como gran instalación solar: Datos generales	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 y Desalación	26
Otras Instalaciones	28
Proyectos de I+D	31
Introducción	31
Tecnología de Receptor Central	33
Tecnología de Colectores Cilíndroparabólicos	45
Química Solar	53
Formación y Acceso	71
Referencias Documentación	81
Lista de Acrónimos	87

Introducción

La actividad de la Plataforma Solar de Almería durante el año 2002 ha estado estructurada en tres líneas principales de trabajo: tecnología de producción de electricidad por vía termosolar, uso de la radiación solar para aplicaciones medioambientales y actividades encaminadas a difundir y diseminar a la mayor escala posible las posibles aplicaciones de estas tecnologías.

La producción de electricidad por vía termosolar ha recibido un impulso a lo largo de 2002 como consecuencia de la aprobación en España del Real Decreto 841/2002 donde se establece una prima a la producción de 0,12€ por kWh. Esta medida, largo tiempo esperada, contribuirá sin ninguna duda a la construcción de las primeras plantas comerciales en nuestro país. En esta línea nuestra actividad durante este año ha sido intensa, tanto en la tecnología de colectores cilindro-parabólicos (CCP) como en la de receptor central (RC).

En el área de CCP se avanza de manera decidida hacia la consolidación de la tecnología de generación directa de vapor, mediante la cual se esperan reducir los costes de producción de electricidad alrededor de un 30%. Los proyectos INDITEP y PREDINCER son el más claro exponente de ello, contando además con una decidida participación del sector industrial. Igualmente en el área de RC, mediante los proyectos SOLGATE y SOLAIR, se están sentando las bases de una tecnología madura, lista para acceder al mercado energético en condiciones de fiabilidad y competitividad.

Nuestra actividad en aplicaciones medioambientales ha estado centrada en la ya consolidada línea de destoxificación de aguas residuales procedentes de la industria y en una renovada actividad en una aplicación de especial interés para la región donde nos encontramos: la desalación de agua de mar. En pocos casos se da una coincidencia tan clara entre la existencia de un problema medioambiental y su solución, como es la escasez de agua potable y el uso de la energía solar para su obtención a partir del agua de mar. Los proyectos AQUASOL y SOLARDESAL han comenzado este año y estoy seguro de que sus resultados no pasarán inadvertidos.

Las actividades de formación y diseminación continúan con paso firme, ya que somos conscientes de que no debemos descuidar la faceta de informar a la sociedad acerca de la existencia de esta opción dentro de las energías renovables. Se mantienen los convenios educativos con distintas universidades, se ha continuado la participación en los programas de acceso de investigadores promovidos por la Comisión Europea y hemos llevado nuestras actividades 'a la calle' con diversos actos dentro de la Semana de la Ciencia.

No quisiera terminar esta introducción sin dedicar unas palabras de agradecimiento a todo el personal de la PSA, que gracias a su quehacer diario hacen posible que todos estos proyectos se hagan realidad. También al CIEMAT, que sigue apostando decididamente por este Centro como se ha podido ver en la importante inversión realizada para mejorar nuestras instalaciones dentro del Plan de Mejora de Infraestructuras y por último, aunque no menos importante, a mi antecesor en este cargo, el Dr. Manuel Romero, por su buen hacer y enorme dedicación a pesar de las circunstancias.



Diego Martínez Plaza
Director de la Plataforma Solar de Almería

Presentación General

La PSA como gran instalación solar: Datos generales

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

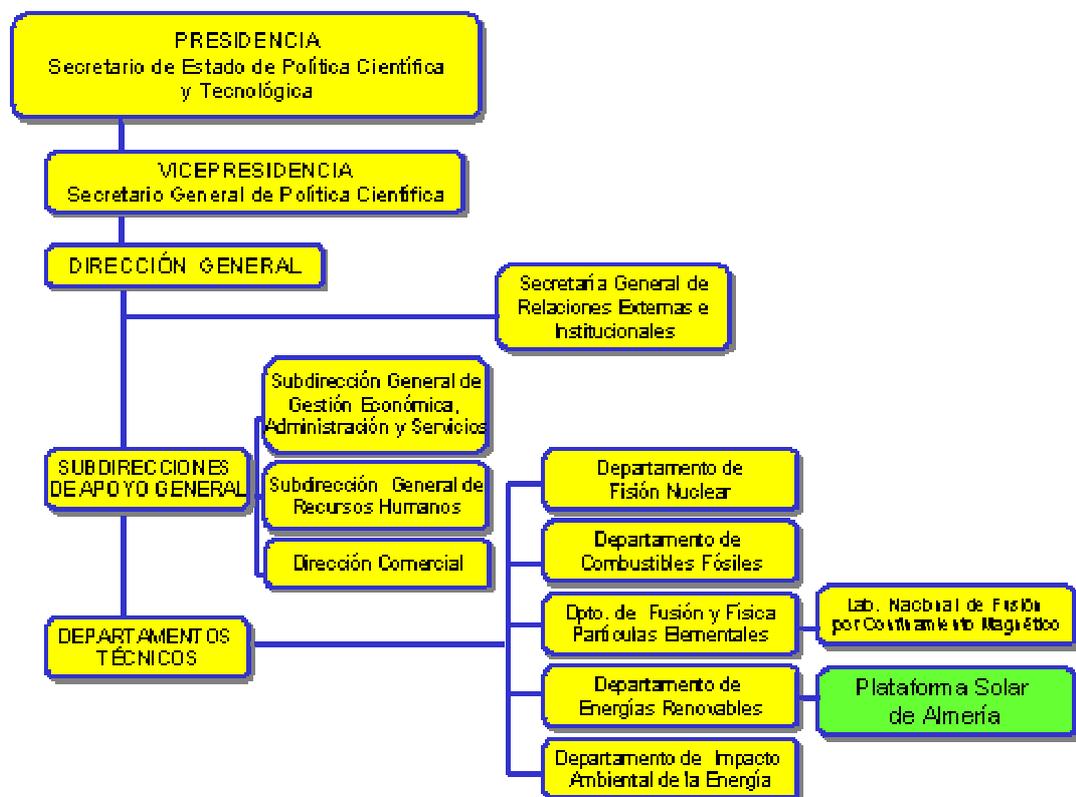


Figura 1. Integración de la PSA en la estructura orgánica del CIEMAT



Figura 2. Vista aérea de la Plataforma Solar de Almería

Los objetivos que inspiran su actividad investigadora son los siguientes:

- Contribuir al establecimiento de un esquema de suministro energético mundial limpio y sostenible.
- Contribuir a la conservación de los recursos energéticos de Europa y a la protección de su clima y medio ambiente.
- Promover la introducción en el mercado de las tecnologías termosolares y las derivadas de los procesos de química solar.
- Contribuir al desarrollo de una industria termosolar 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.

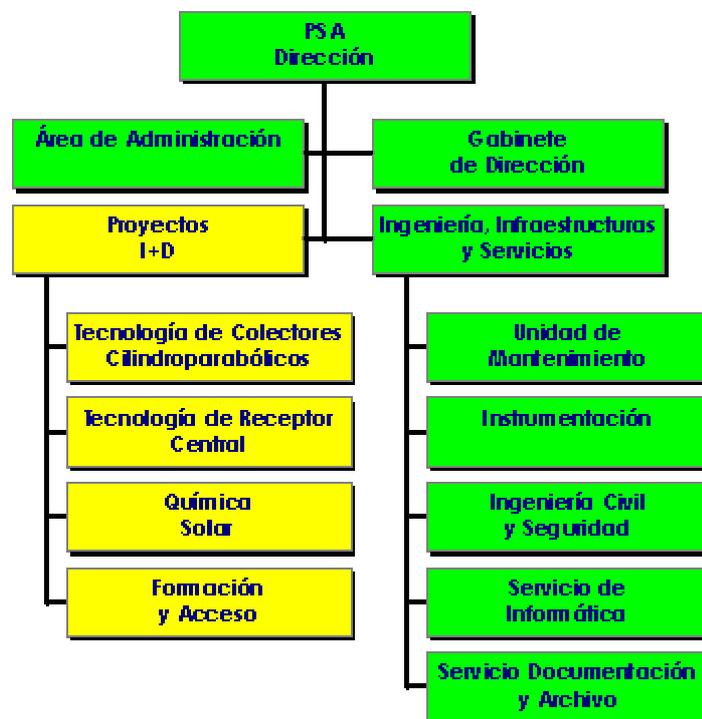


Figura 3. Organigrama PSA 2002. En color verde se recogen las unidades funcionales y servicios adscritos al Área de Dirección.

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 2002 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 contratatas auxiliares y de operación y mantenimiento de las distintas instalaciones (39 personas). Las contratatas auxiliares están formadas por 3

personas de limpieza, 6 de personal administrativo y 5 de vigilancia y seguridad. En cuanto a las contrataciones 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.

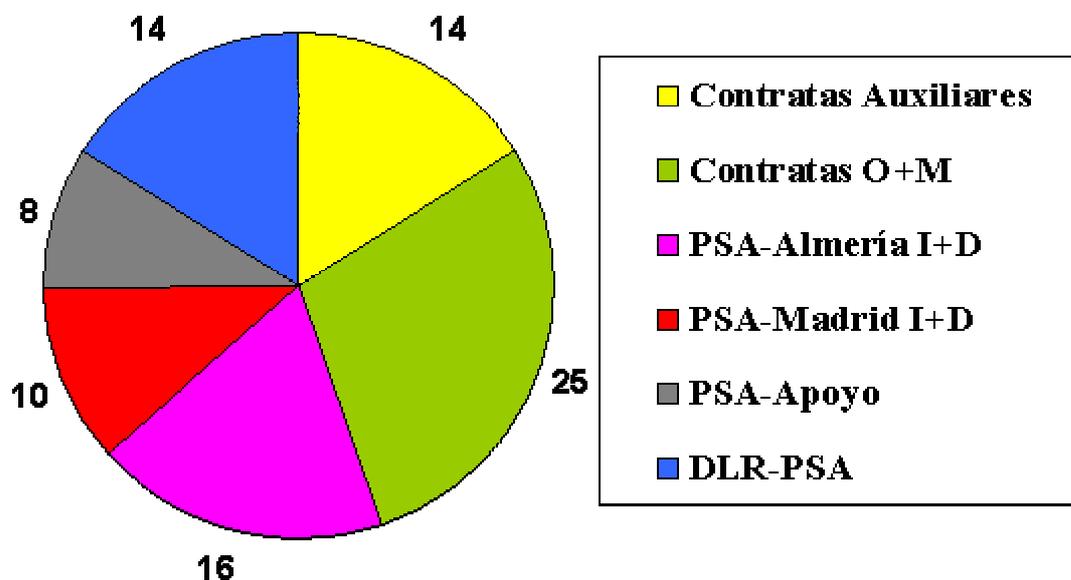


Figura 4. Distribución del personal que desarrolla su actividad en la PSA de forma permanente a Diciembre de 2002

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 integrada 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.

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 2002 los 4,15 millones de Euros (no se incluyen en este presupuesto los costes de personal de I+D). De esta cantidad, 0,98 millones de Euros se recibieron como ingreso de proyectos a través de la CE y otros entes subvencionadores. El descenso experimentado en los ingresos procedentes de la CE viene motivado por el ciclo vital típico de los programas marco de la Unión Europea, ya que en el año 2002 nos encontramos en la recta final del V Programa Marco de I+D y por tanto la mayoría de los proyectos asociados se encuentran en su última etapa donde los ingresos

son más reducidos. La contribución de DLR al CHA mejoró ligeramente con respecto al año anterior, ascendiendo a 0,28 millones de Euros. La contribución de CIEMAT se vio incrementada con el fin de acometer las actividades aprobadas en el plan de mejora de infraestructuras de la PSA. Estas mejoras iniciadas en el año 2002 recogen importantes obras en edificios como el nuevo edificio de acogida de visitantes o el nuevo edificio de oficinas, la instalación de la nueva instalación meteorológica, la sustitución del actual horno solar, reparaciones en el campo DCS y las mejoras en los campos de heliostatos.

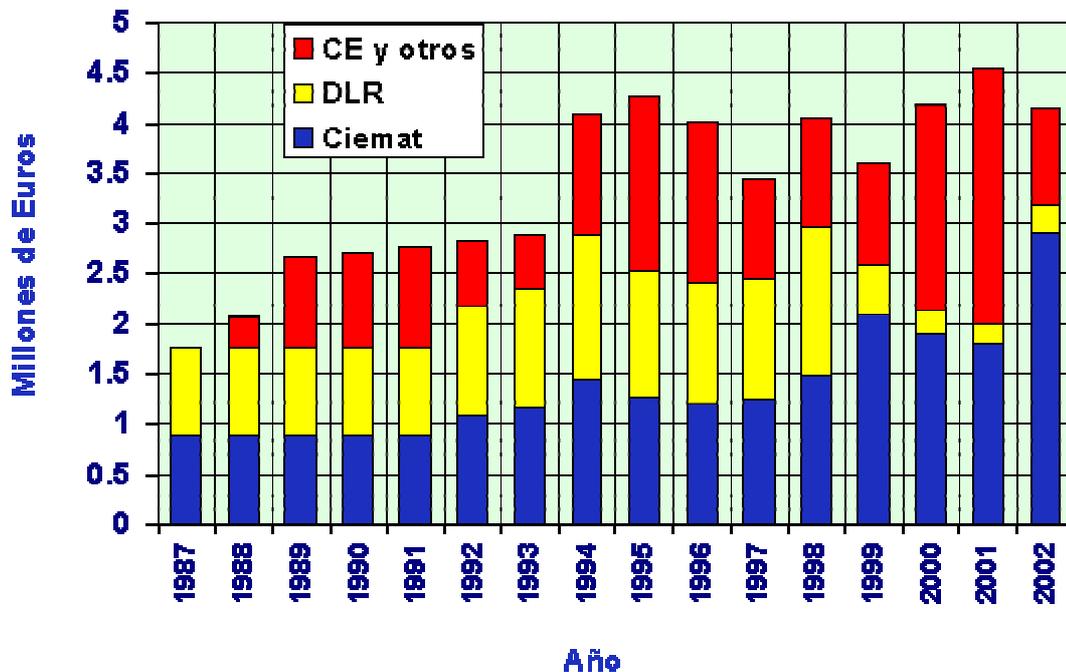


Figura 5. Evolución del presupuesto de gastos de la PSA y distribución por origen de la financiación

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. En la actualidad las relaciones y compromisos de colaboración científica se regulan a través del Anexo IV de dicho Convenio, que recoge el compromiso de mantener una delegación permanente de DLR en la PSA durante los años, 2003, 2004 y 2005. El año 2002 fue un año de transición que sirvió para fijar las nuevas condiciones de colaboración y el alcance de la misma. La firma del Convenio por ambas Partes tuvo lugar en la sede de Ciemat en Madrid el 10 de diciembre de 2002.

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, Argelia 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), a 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 europeo 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 2002 con las Universidades de Sevilla y Almería, con centros de investigación (el DLR, el ZSW y el Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems de Alemania;), compañías eléctricas (la española IBERDROLA), industrias (las españolas SOLUCAR y GAMESA, 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 SOLUCAR, IBERESE y SERLED, y universidades como la Universidad de Sevilla, Almería y UNED. 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 Ceramics (Alemania).

El entorno de colaboración del Proyecto de Aplicaciones Químicas de la Radiación Solar ha experimentado a lo largo del año 2002 un fuerte impulso e incremento con relación a la ya extensa lista de instituciones con las que se estaba colaborando en años anteriores. En efecto, a fecha de 31.12.2002 la lista de relaciones contractuales en vigor abarca todos los ámbitos posibles, desde el local (Univ. de Almería, DSM Deretil, Cajamar, Coexpal, Comunidad de Regantes Cuatro Vegas) pasando por el nacional (Grupo Abengoa, Ecosystem, Aragonesas Agro, Emuasa, Indoor Air Quality, Fundación Inasmet, las Universidades Autónoma de Barcelona, Complutense, Alcalá, La Laguna, ICP-CSIC y el Hospital de San Carlos de Madrid), el europeo (Weir-Entropie, Ao Sol, Hellenic Saltworks, Trailigaz, Janssen Pharmaceutica N.V., Ahlstrom Paper Group, IPM, Protection des Metaux, y las universidades ETH, NTUA, INETI, EPFL, Claude Bernard Lyon 1, Poitiers, L'Aquila, etc.) y el extra-comunitario (donde se colabora contractualmente con instituciones de Mexico, Marruecos, Argentina, Perú, Colombia, Egipto y Tunez).

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.

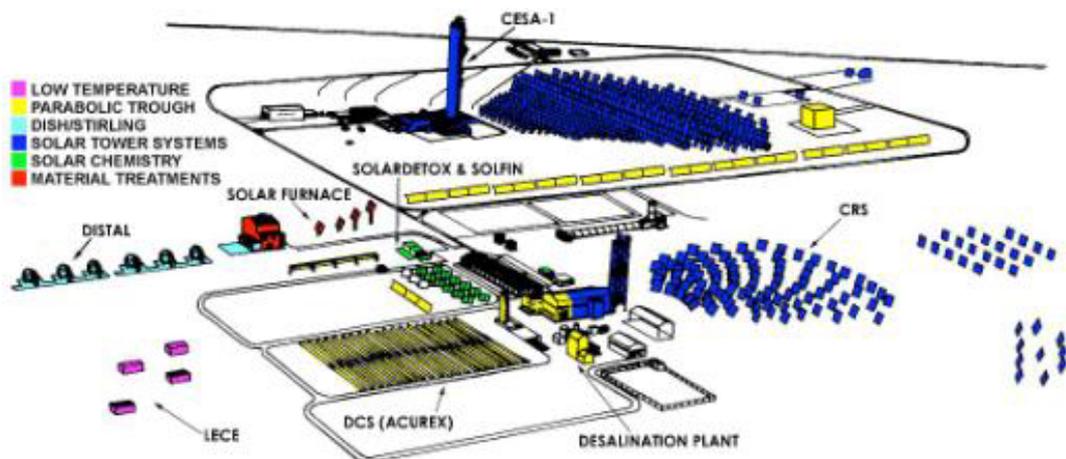


Figura 6. Ubicación de las principales instalaciones de ensayo de la PSA

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



Figura 7. Vista aérea de la instalación CESA-I al fondo

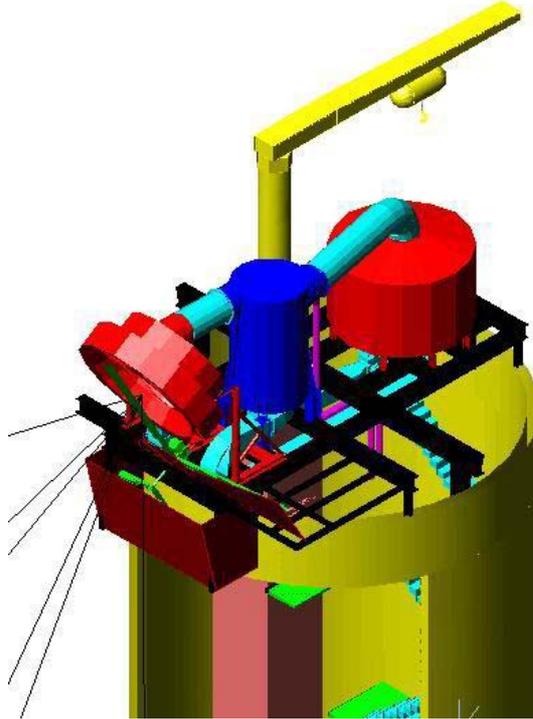


Figura 8. Vista trasera de la instalación TSA ubicada en el nivel de 80 m de la torre CESA-I. A la izquierda e inclinado se puede observar el receptor solar y en la parte central, en color azul, el generador de vapor.

potencia térmica que proporciona el campo sobre la apertura del receptor es de 7 MW. A una irradiancia típica de diseño de 950 W/m^2 , se obtiene un flujo pico de $3,3 \text{ MW/m}^2$. El 99% de la potencia se recoge en un círculo con diámetro de 4 m y el 90% de la misma en un círculo de 2,8 m.

La torre es de hormigón y tiene una altura de 80 m, siendo capaz de soportar una carga de 100 toneladas. A lo largo de la torre hay tres niveles de ensayo: Un horno solar para ensayo de materiales a 45 m, una cavidad con un banco calorimétrico de ensayo de receptores volumétricos presurizados 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.

La instalación TSA es de hecho un banco de ensayos calorimétrico que permite realizar medidas de eficiencia de receptores solares, hasta 2,5 MW térmicos. 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.

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.

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.

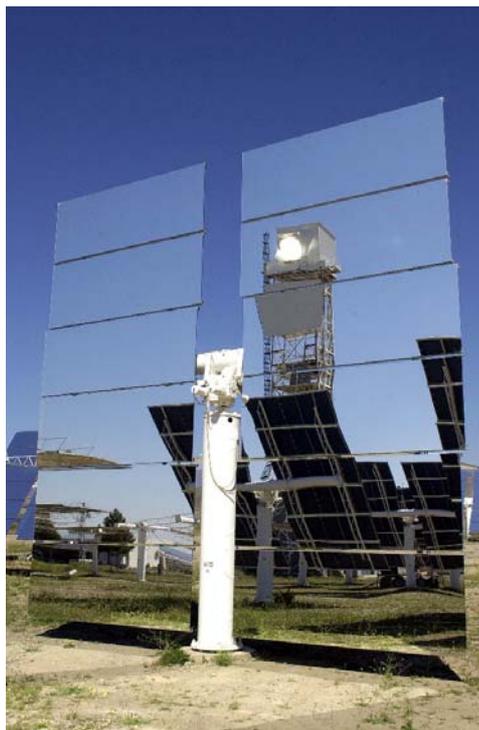


Figura 9. Un heliostato del campo CRS con vista reflejada de la torre



Figura 10. Vista frontal del banco de ensayos de receptores volumétricos en la torre CRS, en el rango de 200-400 kW.

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, EURO-TROUGH y LS3

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

La planta experimental DISS

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

La planta DISS consta de dos subsistemas: el Campo Solar con colectores cilindro parabólicos, y el Sistema de Potencia. En el campo solar, el agua de alimentación es precalentada, evaporada y convertida en vapor sobrecalentado conforme circula por los tubos absorbentes de una fila de colectores cilindro parabólicos de 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.



Figura 11. Vista del campo solar del lazo DISS en funcionamiento

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 (Figura 12) muestra el esquema simplificado de la planta DISS. En ella se observa que el campo solar consta de una fila compuesta por 11 colectores solares cilindroparábolicos cuyo eje de rotación esta orientado en la dirección norte-sur. Los colectores están compuestos por módulos reflectantes cilindro parabólicos de 12 m de largo y 5,76 m de ancho. El campo solar consta de dos partes: la sección de precalentamiento+evaporación, y la sección de sobrecalentamiento. Al final de la sección de precalentamiento+evaporación existe una bomba de recirculación y un separador agua/vapor que aumentan la flexibilidad operativa del sistema.

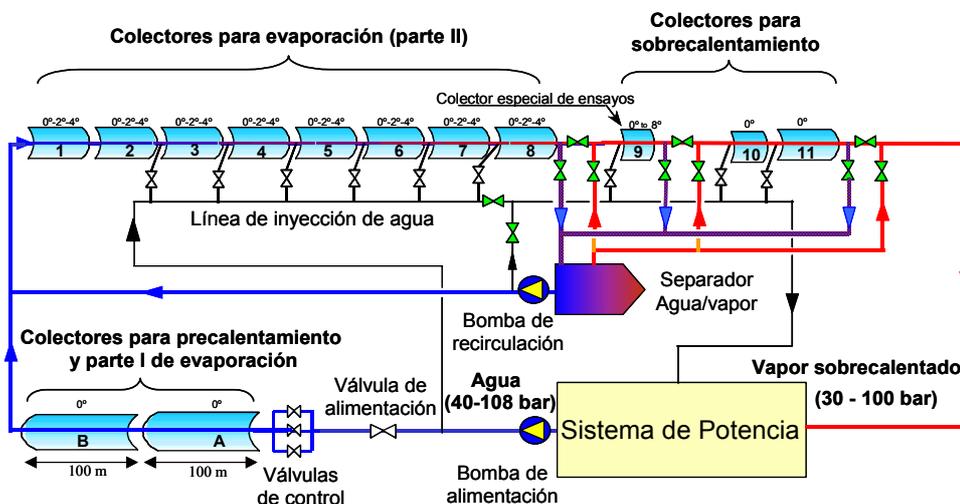


Figura 12. Esquema simplificado del lazo DISS existente en la PSA

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 absorbedores de los colectores solares cilindro parabólicos.

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 cilindro parabólicos. Espejos, tubos absorbedores, sistemas de seguimiento solar, etc., pueden ser instalados y evaluados en esta instalación, que cuenta con los dispositivos de medida y monitorización adecuados para ello

La Instalación consta de un circuito de aceite térmico conectado, en lazo cerrado, a un colector solar formado por 4 módulos cilindro parabólicos del tipo LS-3, de 12 m de longitud y 5,7 m de anchura, con una superficie total de captación solar de 272,5 m². El aceite térmico usado en esta instalación (Syltherm 800) tiene una temperatura máxima de trabajo de 420°C, y un punto de congelación de -40°C. El colector solar tiene su eje de rotación orientado en dirección Este-Oeste, lo que permite aumentar el número de horas al año en las que el ángulo de incidencia de la radiación solar es menor de 5°.

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

- Tanque de expansión para el aceite, de 1m³ de capacidad, con sistema automático de inertización mediante nitrógeno.
- Tanque de drenaje del circuito de aceite
- Enfriador de aceite mediante flujo de aire, con un poder de enfriamiento máximo de 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.



Figura 13. Vista general del lazo LS-3

Dentro del lazo de ensayo HTF, y en paralelo con su colector solar, se encuentra instalado el primer prototipo de colector EUROROUGH. El diseño de colector EUROROUGH ha sido desarrollado por un consorcio europeo que con la ayuda financiera de la Comi-

sión Europea ha diseñado, construido, montado en la PSA y evaluado bajo condiciones reales de operación un nuevo colector cilindro parabólico apto no solo para plantas termosolares de generación de electricidad, sino también para otras aplicaciones como la desalación del agua de mar o la alimentación de procesos industriales que consumen energía térmica dentro del rango 150°C – 425°C. Una vez concluido el proyecto EUROTROUGH, el Consorcio ha cedido este primer prototipo al CIEMAT para su operación y mantenimiento, pasando a formar parte de los sistemas con colectores cilindro parabólicos que actualmente existen en la PSA.

Planta SSPS-DCS con sistema de desalación solar

Esta instalación posee una potencia nominal de 1,2 MW_t, y consta de cuatro subsistemas principales, tal y como se muestra en el esquema adjunto:

- Un campo solar compuesto por 40 colectores cilindroparabólicos 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 m², 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 MW_t para una radiación solar directa de 950 W/m². El suministro medio diario de energía térmica es de 6,5 MW_t.
- Un sistema de almacenamiento térmico consistente en un tanque termoclino de aceite, con un volumen interior de 140 m³ y una capacidad de almacenamiento de 5 MW_{ht}, 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 kW_e, 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 kW_t, 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.

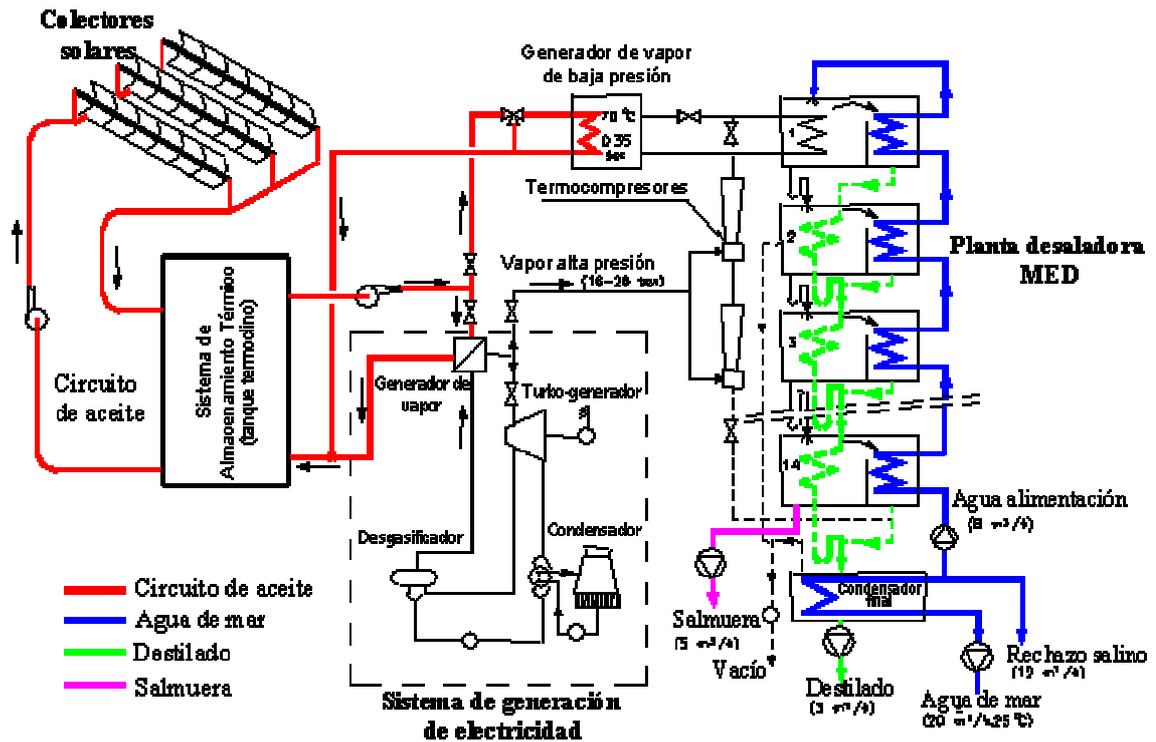


Figura 14. Esquema general de la planta SSPS-DCS

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 [Blanco y col., 2002(e)]. 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.

Capacidad:	3 m ³ /hora
Número de efectos:	14
Agua de entrada:	Agua de mar (35.000 ppm)
Producto:	Destilado (≤50 ppm)
Factor de rechazo:	62%
Caudal:	8 m ³ /h (alimentación)
Consumo térmico:	63 kWh/m ³ (PR > 9)
Consumo eléctrico:	3 kWh/m ³
Potencia solar:	1,2 MWp
Rendimiento:	50% (campo solar)
Superficie:	2762 m ² de colectores
Tipo de colectores:	ACUREX 3001 (CCP)
Almacenamiento:	5 MWh (Therminol 55)
Temp. máx. (aceite):	300°C



Figura 15. 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)

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.

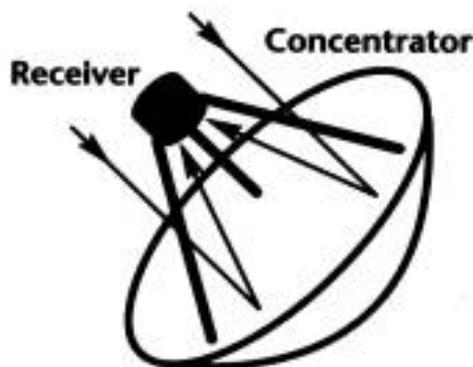


Figura 16. Esquema de funcionamiento de un disco parabólico con motor Stirling en el foco.

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

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



Figura 17. Un sistema DISTAL I en operación en la Plataforma Solar de Almería

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.



Figura 18. 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.
- Desarrollo de un nuevo procedimiento optimizado para el montaje del sistema, usando nuevas herramientas especiales.
- Control y monitorización remotos a través del WWW.
- Ensayo de unidades precomerciales como sistemas de referencia.



Figura 19. Nuevo receptor de tubos para la cavidad absorbadora del motor Stirling



Figura 20. EuroDISH vista desde delante y detrás

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

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

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

La superficie parabólica se consigue con el uso de facetas de curvatura esférica, distribuidas según cinco radios de curvatura distintos según su distancia al foco.

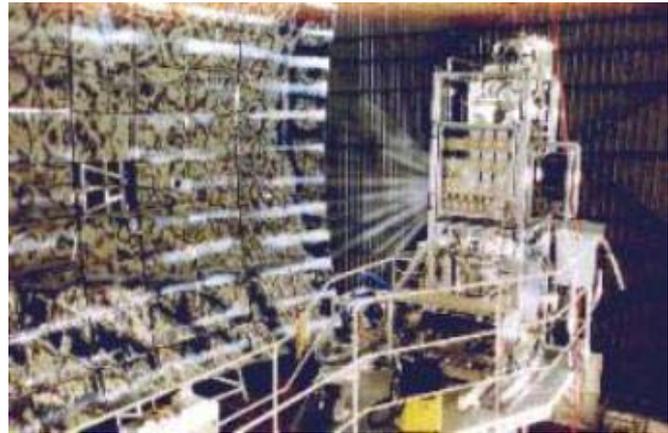


Figura 21. Disco concentrador del Horno Solar (izquierda) y receptor en operación dentro de la zona focal (derecha).

ATENUADOR

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

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



Figura 22. 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

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

Las características del foco para el 100% de apertura y una radiación solar de 1000 W/m² son: Pico de flujo: 3000 kW/m², potencia total: 58 kW, y diámetro del foco: 23 cm [Neumann, 1994].

Instalaciones de Química Solar y Desalación

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 (con el apoyo de la UE). La configuración actual de la planta piloto para fotoquímica basada en colectores tipo PTC (Parabolic Through Collectors) está compuesta por 4 colectores solares (128 m²) del tipo cilindro-parabólico con seguimiento solar en dos ejes. El factor de concentración que se alcanza en ellos es de 10,5 soles. El colector solar utilizado, denominado "Helioman" 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 m². 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.

Posteriormente se han instalado otras plantas piloto basadas en CPCs (colectores cilindroparabólico compuestos). 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 tres módulos cada uno con una superficie de 3 m² 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 250 L y el del tubo absorbedor es de 108 L (volumen iluminado). En 2002 se ha concluido la instalación de un nuevo colector de 15 m² que aumentará el volumen hasta 300 L. Este colector es el modelo más avanzado de los desarrollados en los últimos años y se espera que diferentes plantas de tratamiento a desarrollar en varios proyectos estén basadas en él. Además, se dispone de 2 pequeños 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 m²) 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



Figura 23. Vista general de las instalaciones para aplicaciones de Fotoquímica Solar basadas en colectores CPC con el nuevo colector en primer plano.

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 Synthesis 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 se han puesto 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 termoelectrificado 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.

El laboratorio de Química Solar de la PSA es un edificio de unos 75 m² diseñado para contener todos los dispositivos relacionados con un laboratorio de química convencional: mesas de trabajo, campana extractora de gases, almacén de productos químicos en pequeñas cantidades, central distribuidora de gases técnicos, sistema de tensión segura, sistemas de seguridad (extintores, ducha, lavavojos etc.), 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 [Cáceres y col., 2002(a),(b)]. Todos estos sistemas están informatizados mediante una completa red de ordenadores. Además, en él 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.

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

- Síntesis de nuevos semiconductores con mayor eficiencia. Envejecimiento, desactivación y regeneración de estos fotocatalizadores.
- Viabilidad de los procesos de fotocatalisis con radiación solar concentrada mediante sistemas basados en Fe⁺² - H₂O₂ [Vidal y col., 2002].
- Reducción foto-asistida de CO₂ mediante catalizadores de RuO₂-TiO₂ [Vidal y col., 2002].

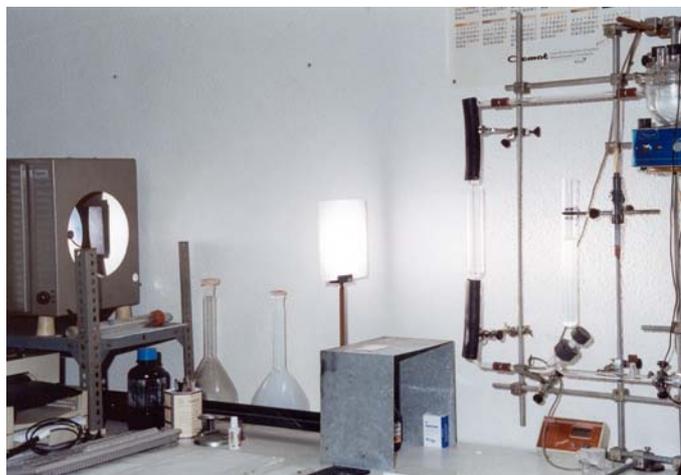


Figura 24. Banco de ensayos del Proyecto de Química Solar

Laboratorio de Detoxificación en Fase Gas

El laboratorio de Detoxificación en Fase Gaseosa, también situado en las instalaciones del Departamento de Energías Renovables 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, SO₂ y CO₂ 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.



Figura 25. a) Sistema GC-MS para el análisis de muestras en discontinuo



Figura 25. b) Ensayos con reactor tubular en continuo

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.



Figura 26. Vista de ensayo de colector solar utilizado como cerramiento inclinado

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

- Apoyo experimental a la elaboración de normas y reglamentaciones.
- Actividades experimentales propias del Grupo de I+D en Energía Solar en la Edificación de CIEMAT.
- Colaboración y servicio a los fabricantes de materiales y componentes para la edificación.

Proyectos de I+D

Introducción

El año 2002 ha resultado determinante para desbloquear el impasse existente en los proyectos de explotación comercial de las Centrales Eléctricas Termosolares (CET). Después de una larga espera de más de tres años, la publicación del Real Decreto 841/2002 de 2 agosto 2002 (BOE 2 septiembre 2002), que establece una prima de 0,12 €/kWh para la electricidad de origen solar térmico, permite disponer de un marco regulatoria y un escenario claro de explotación de las CET. Si bien la prima publicada resulta inferior a la inicialmente esperada y además exige operación solar pura sin apoyo fósil, los primeros proyectos, como Andasol y Sanlúcar Solar se han puesto ya en marcha. En ambos proyectos participa la PSA de forma activa y jugará un papel determinante en la evaluación de los resultados de operación, una vez que las plantas comiencen su fase explotación.

En tecnología solar de receptor central, el año 2002 ha servido para culminar el desarrollo de dos sistemas de receptores volumétricos refrigerados por aire (SOLAIR y SOLGATE) que permiten afirmar que la tecnología de aire atmosférico y presurizado se encuentra ya cualificada a escala de planta piloto, en el rango de unos pocos megavatios. La PSA ha mantenido también su actividad continuada en el desarrollo y ensayo de nuevos conceptos de helióstatos. En concreto se ha comenzado la validación de un nuevo helióstato de 120 m² para la futura planta Sanlúcar Solar y se ha desarrollado un prototipo de helióstato autónomo que servirá como modelo para la reconversión de todo el campo CRS en el primer campo de helióstatos autónomos conocido.

En lo referente a la tecnología de colectores cilindro parabólicos, las dificultades expe-

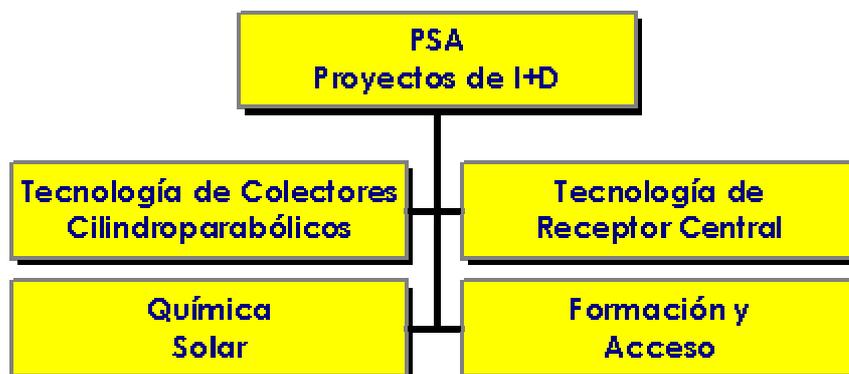


Figura 27. Proyectos que configuran la actividad de I+D en la PSA

rimentadas por los diferentes consorcios que están promoviendo plantas solares termoelectricas con esta tecnología, debido fundamentalmente a la escasez de la prima estipulada para la electricidad generada, hacen pensar en la conveniencia de intentar penetrar en el mercado energético con otro tipo de aplicaciones. En este sentido, el acople de campos de colectores cilindro parabólicos a procesos industriales que requieren energía térmica en el rango 150°C - 400°C parece ser una buena forma de comenzar a implantar comercialmente los colectores cilindro parabólicos.

Hasta ahora casi todo el esfuerzo de I+D llevado a cabo en la PSA con relación a los colectores cilindro parabólicos ha estado centrado en la generación de electricidad, por lo que parece conveniente dar un giro en esta estrategia y empezar a trabajar en el desarrollo de otras aplicaciones industriales que no requieran campos de colectores tan grandes como la plantas solares termoelectricas. Este cambio de estrategia supone empezar a trabajar en el desarrollo de colectores de tamaño más reducido que los actuales LS-3 o EUROTROUGH.

Por otro lado, la generación directa de vapor se ha consolidado en el año 2002 como una opción muy prometedora para abaratar el coste de la energía térmica suministrada por los colectores cilindro parabólicos, lo que impulsa a continuar en su desarrollo y en la optimización de componentes.

El año 2002 ha resultado ser un año absolutamente clave para el desarrollo y la evolución futura de las actividades de Química Solar ya durante el mismo se ha consolidado el ambicioso salto planeado el año anterior y que ha permitido pasar de un ámbito de actividad básicamente circunscrito a aplicaciones fotoquímicas a otro mucho mayor en el que, manteniendo las actividades anteriores del grupo, se pretenden abordar también problemáticas de mucho mayor calado e interés a nivel global. El cierre, durante 2002, de la negociación con la Comisión Europea y comienzo de los proyectos AQUASOL, CADOX y SOLWATER (conjuntamente con el proyecto gemelo AQUACAT), todos ellos coordinados desde la PSA es, a la vez que un importante reto para la capacidad de gestión y liderazgo del grupo de Química Solar, una notable oportunidad de desplazar el núcleo de las actividades del Proyecto desde las aplicaciones de degradación fotocatalítica de contaminantes (en fases acuosa y gaseosa) hacia temas diversos pero complementarios, fundamentalmente centrados en la problemática del agua: degradación de contaminantes, potabilización de agua y desalación de agua de mar, todo ello mediante procesos basados en la energía solar. Todos los recientes informes publicados por diversos organismos de la Naciones Unidas coinciden en señalar a la problemática del agua como uno de los temas que van a resultar más importantes y trascendentes durante, al menos, las primeras décadas del presente siglo, debido a su impacto sobre un sector muy importante de la población mundial. La fuerte sinergia que existe entre la radiación solar y las aplicaciones asociadas a procesos del agua permiten preveer una importante actividad en este campo, sostenida durante los proximos años.

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 han tenido acceso a las instalaciones de la PSA en el periodo 2000-2002.

El estado general de actividad de I+D en la PSA durante el año 2002 ha sido altamente satisfactorio, con una clara consolidación de las líneas de trabajo en receptores y concentradores solares, almacenamiento térmico, desalación, detoxificación de efluentes y la aparición de nuevas actividades en producción de hidrógeno solar por vía termoquímica. 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 tecnología 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, Buck y Pacheco, 2002]. 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 programa 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 su rentabilidad global, mediante una reducción del coste y un aumento del rendimiento y la durabilidad de sus componentes, especialmente de aquéllos que tienen un mayor peso en el coste total de la planta (campo de helióstatos, receptor y control), así como la simplificación de la O+M asociada.

- Mejorar la integración de los sistemas de receptor central mediante el desarrollo de componentes avanzados que permitan abordar esquemas de producción más eficientes, tanto en sistemas de generación eléctrica como en procesos industriales.
- 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 2002 se ha nucleado en torno a siete proyectos, financiado todos ellos en convocatorias públicas de I+D:

- 1) 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. Coordinador: M.J. Marcos (CIEMAT). Periodo: Enero 2001/Abril 2002.
- 2) 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, SOLUCAR (España), DLR, Fichtner (RFA). Investigador principal: Rafael Osuna (SOLUCAR). Periodo: Julio 2001/Julio 2004.
- 3) Proyecto: "PCHA: Primer campo de helióstatos autónomos-Fase I"; Ref. FIT-120102-2002-13. Convocatoria PROFIT-2002, Ministerio de Ciencia y Tecnología. Investigador Principal: Ginés García (CIEMAT). Entidades participantes: CIEMAT (Enero/Diciembre 2002).
- 4) 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 RDT (Programa ENERGIE). Entidades participantes: CIEMAT, SOLUCAR, IBERESE (España), STC (Dinamarca), DLR (RFA) y FORTH/CEPRI (Grecia). Investigador principal: Rafael Osuna (SOLUCAR). Periodo: Febrero 2000/Junio 2004.
- 5) 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/Septiembre 2003.
- 6) Proyecto: "HST: Hocheffiziente Solarturm-Technologie -Tecnología de torre solar de alta eficiencia"; Ref. Z II 6 (D) -46040 - 1/3.3. Convocatoria: BMU-Ministerio de Medio Ambiente Alemán-2001 y Kreditanstalt für Wiederaufbau-KfW. Entidades participantes: CIEMAT (España), DLR, KAM, G+H, Isolite (Alemania). Coordinador: R. Buck (DLR). Periodo (Enero 2002/Abril 2004).
- 7) Proyecto: "ALTER: Ensayo de nuevos elementos del núcleo en un almacenamiento térmico de una planta solar-térmica para generación eléctrica con tecnología de torre y campo de helióstatos"; Ref. FIT-120102-2002-19. Convocatoria PROFIT-2002, Ministerio de Ciencia y Tecnología. Entidades participantes: CIEMAT y SOLUCAR. Coordinador: J. Enrile (SOLUCAR). Duración: enero/diciembre 2002.

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 comenzó en enero de 2001 un nuevo proyecto denominado SOLAUT, que ha contado con financiación del Programa PROFIT del Ministerio de Ciencia y Tecnología. El informe final, recogiendo el estudio de viabilidad de dicho concepto, se entregó en abril de 2002.

El objetivo último de la PSA, con relación al concepto SOLAUT, es llegar a desarrollar 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. Este concepto modular resulta absolutamente rompedor con una tradición histórica que siempre ha postulado que los sistemas TRC tienen su nicho de mercado en la producción eléctrica centralizada, demostrando que la TRC no está reñida con los diseños de pequeño tamaño y alto rendimiento.

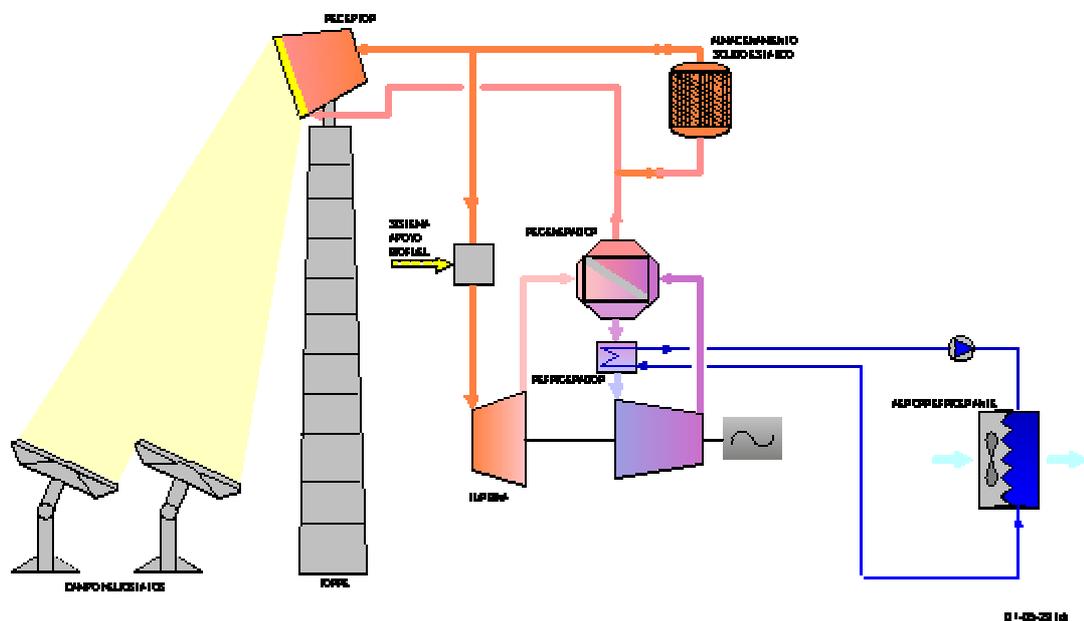


Figura 28. Esquema funcional de la Planta SOLAUT

La nueva tecnología solar termoeléctrica propuesta se basa en el receptor volumétrico atmosférico de aire con almacenamiento térmico cerámico, 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 consumo de agua para refrigeración [Marcos, Romero, Mendoza y Díez, 2002]. Esto 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 tipo 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%.

En la figura siguiente se refleja el resultado de los estudios realizados para distintos ciclos Brayton inversos aplicados al esquema SOLAUT y operando a una temperatura máxima de 850 °C. Como se puede apreciar, el uso de un ciclo regenerativo cerrado presenta importantes ventajas, a pesar de utilizar bajas relaciones de presión.

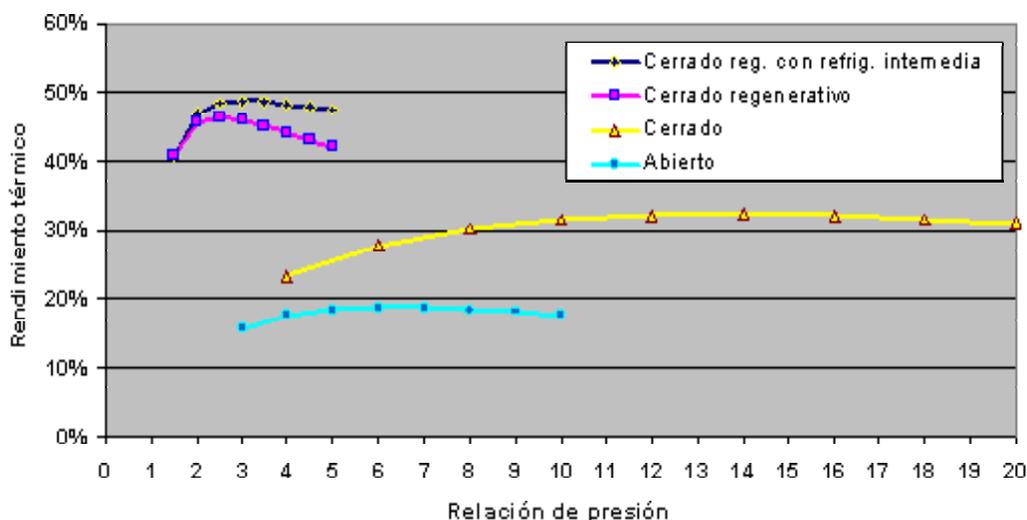


Figura 29. Rendimiento térmico ciclos Brayton inversos

El esquema SOLAUT precisa no obstante un desarrollo tecnológico importante centrado en el receptor solar, que debe trabajar con un alto rendimiento a pesar de recircular aire a muy alta temperatura, el sistema de almacenamiento térmico, el recuperador de calor y el compresor. Por este motivo, y una vez finalizado en el mes de abril el estudio de viabilidad del concepto básico, se ha iniciado la búsqueda de colaboradores y socios tecnológicos para definir un proyecto de más largo alcance cuyo objetivo sea el desarrollo de los sistemas clave del ciclo y la validación experimental de los mismos en una planta piloto, con posible integración de biomasa [Romero, 2002a]. Como consecuencia de esa búsqueda se ha identificado un núcleo de empresas y centros de investigación interesados en desarrollar la tecnología y solicitar apoyo económico a la CE en próximas convocatorias del VI Programa Marco de I+D. Estos socios son: IPASA de Rumania, CIE-UNAM de México, ABB y ETH de Suiza, KEM de Dinamarca, PCA del Reino Unido, SOLUCAR, SERLED, IBERESE y CIEMAT de España, JASPER de Alemania, CRES de Grecia y MEERI de Polonia.

EL PROYECTO PS10

En cuanto a la actividad relacionada con el desarrollo de proyectos de demostración, se ha seguido participando en la realización de la ingeniería del proyecto PS10. El objetivo principal del proyecto PS10 (Planta Solar 10), también conocida como Sanlúcar Solar, es el diseño, construcción y operación comercial de una planta solar termoeléctrica con sistema de torre y campo de helióstatos y una potencia nominal de 10 MW. Esta planta será instalada en el municipio de Sanlúcar la Mayor, en la provincia de Sevilla. La planta está siendo promovida por Abengoa, a través de la compañía de explotación Sanlúcar Solar, siendo la coordinadora del proyecto la empresa SOLUCAR. El proyecto ha recibido una subvención de cinco millones de Euros de la Comisión Europea y dos millones de Euros de la Junta de Andalucía. El proyecto PS10 constituye un elemento esencial de colaboración entre la empresa SOLUCAR y CIEMAT, ya que genera todo un programa tecnológico complementario con desarrollos en helióstatos, concentradores avanzados, receptores solares, códigos y herramientas de software, así como almacenamiento térmico;

siendo estos temas los generadores de diversos proyectos que han venido siendo financiados por el Programa PROFIT del Ministerio de Ciencia y Tecnología.

El proyecto, en su definición actual, hace uso de un campo de helióstatos de vidrio-metal (helióstatos Sanlúcar-90), un receptor volumétrico de aire, un almacenamiento térmico aire/cerámico tipo termoclina y un generador de vapor.

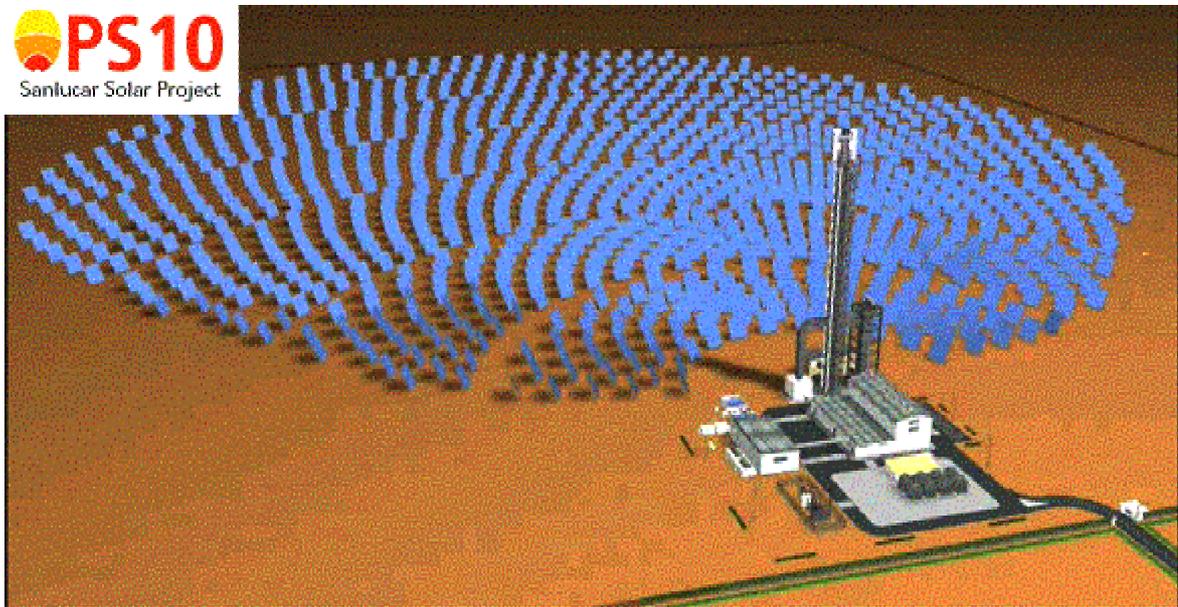


Figura 30. Representación artística de la Planta PS10.

El sistema utilizaría un total de 981 helióstatos (de 90 m² cada uno) desarrollados por la compañía INABENSA, una torre metálica de 90 m de altura y un receptor volumétrico semicilíndrico con una superficie de absorbedor de aproximadamente 173 m². La configuración básica de PS10 consiste en un campo de helióstatos 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.

Si bien la ingeniería básica fue suficientemente definida en la primera fase del proyecto, la compleja situación derivada del marco legal ambiguo en que se encontraba la energía eléctrica de origen termosolar, motivó que durante el año 2002 se registrara una situación de impasse. Esta situación se desbloqueó finalmente con la publicación del Real Decreto 841/2002 de 2 agosto 2002 (BOE 2 septiembre 2002), que establece una prima de 0,12 €/kWh para la electricidad de origen solar térmico [Romero, 2002b].

En la segunda parte del año 2002, y coincidiendo con la finalización de la ingeniería de detalle del receptor volumétrico SOLAIR de 3 MW, se realizó el anteproyecto del circuito de aire y receptor solar para PS10, basándose en ésta tecnología. El trabajo fue contratado a la empresa alemana KAM. El receptor de 50 MW y configuración semicilíndrica fue diseñado a partir del módulo de receptor de 3 MW diseñado por DLR, CIEMAT, SOLUCAR y HelioTech, dentro del proyecto SOLAIR [Hoffschmidt, Fernández, Pitz-Paal, Romero, Stobbe, Téllez (2002)]. La tecnología SOLAIR ha sido ofrecida al promotor del proyecto PS10, quien deberá valorar su adecuación en términos económicas, y se encuentra disponible también para otras iniciativas de plantas comerciales que puedan plantearse en el futuro.

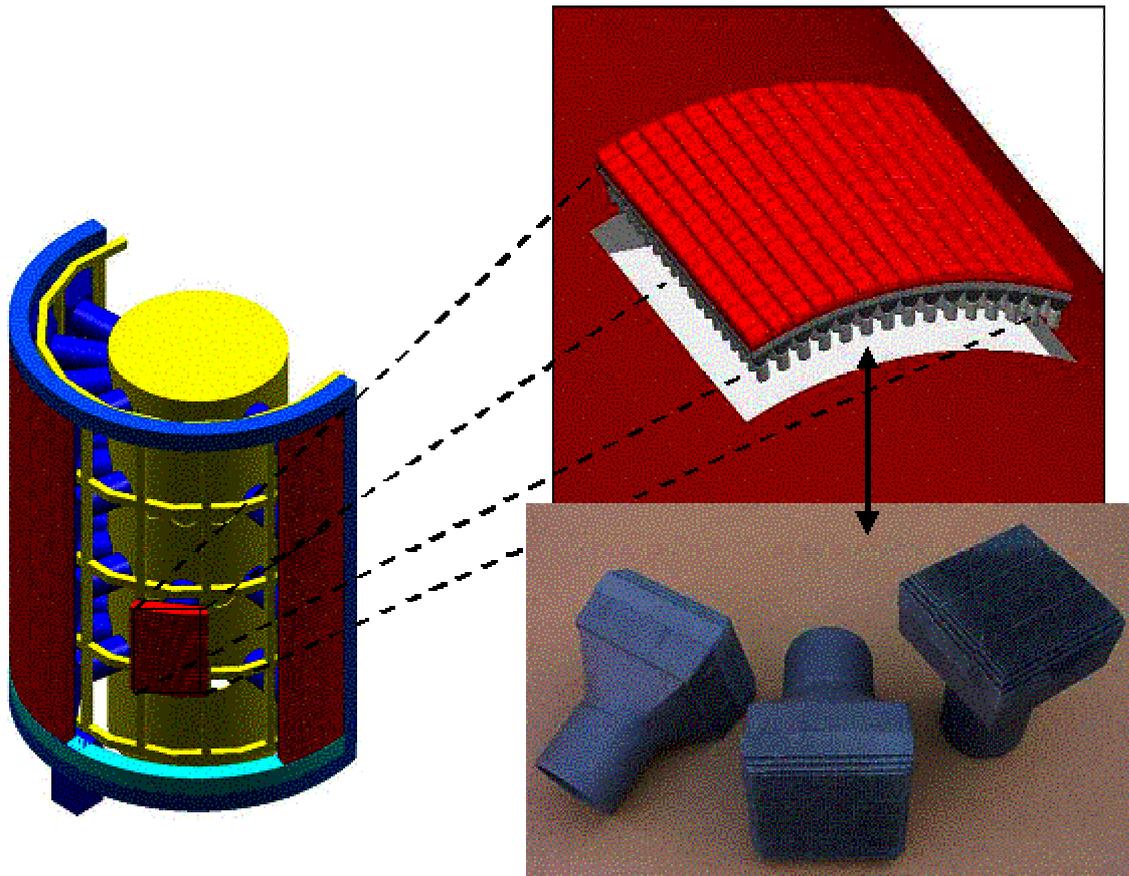


Figura 31. Design of a 50 MW receiver for the PS10 project using a modular concept based on Solair modules of 3-MW each.

El proyecto PS10 ha seguido manteniendo también su actividad en el desarrollo del helióstato a utilizar en la futura planta. Durante el año 2002 se ha finalizado la evaluación y ensayos de dos prototipos del helióstato Sanlúcar 90, de 90 m², en la PSA. La evaluación se centró fundamentalmente en el helióstato con accionamiento mecánico sinfín/corona, ya que el prototipo con accionamiento hidráulico fue estudiado con detalle durante el año 2001. Los ensayos han mostrado calidades ópticas en rayo reflejado de 2,7 mrad en horizontal y 2,3 mrad en vertical, que están dentro de las especificaciones fijadas para la planta PS10. Si bien el sistema de accionamiento hidráulico ha revelado un gran potencial de abaratamiento, sobre todo en helióstatos de gran superficie, la mayor madurez del sistema sinfín-corona se ha impuesto en la decisión final.

A pesar de que el helióstato Sanlúcar 90 ha pasado suficientemente los controles establecidos y cumple con las especificaciones técnicas de partida, la empresa SOLUCAR ha continuado refinando el abaratamiento de costes en el proceso de diseño y fabricación. A finales de 2002 se ha instalado en la PSA un nuevo prototipo de helióstato de 120 m², que presenta una reducción adicional de costes y la incorporación de un control local basado en el uso de autómatas programables. El nuevo helióstato resulta más rectangular y presenta un incremento del 33% de superficie reflectante frente al diseño anterior. Tiene un total de 28 facetas de 3,21-m-x-1,35-m, ubicadas en 7 filas y cuatro columnas. En la actualidad este último sistema se encuentra en ensayo y evaluación, estando previsto completar la campaña de ensayos a mediados de 2003.



Figura 32. Vista delantera del heliostato Sanlúcar-120 instalado en la PSA por la empresa SOLUCAR a finales de 2002.

PRIMER CAMPO DE HELIÓSTATOS AUTÓNOMOS (PCHA):

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. Estos heliostatos 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 heliostato, y de un sistema de comunicación sin hilos, para el gobierno del campo de heliostatos, 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, con la patente de invención número P9901275.

En el año 2000, se realizó el informe final de evaluación extensa del primer heliostato autónomo conocido, que ha sido ensayado en la PSA, confirmándose la robustez y fiabilidad de la comunicaciones por radio y los bajos consumos eléctricos. Con posterioridad, ya en el año 2001, se avanzó un peldaño más en el desarrollo del heliostato autónomo y se probó con éxito la comunicación por radio con un grupo de heliostatos. Para ello, se puso en servicio el campo de 20 heliostatos MBB de la PSA que ha sido utilizado como banco de pruebas. Las cajas de control fueron modificadas con nuevas tarjetas de comunicaciones, en 10 de ellas se instaló un radiomodem comercial y en otras 10 una radio desarrollada específicamente. Las pruebas permitieron seleccionar un radiomodem comercial, el S433MCLight de la empresa FARELL, por su bajo precio, la alta velocidad de transferencia de datos, posibilidad de tele-configuración, codificación de mensajes, capacidad máxima de hasta 10 canales con un ancho de banda de 175 kHz, y un aspecto muy importante que era la baja potencia que permite su uso sin necesidad de licencia. El radiomodem permite comunicación hasta distancias de 1000 m [García 2002].

Los excelentes resultados obtenidos, con el campo MBB de 20 heliostatos, han movido a la PSA a plantear para los años 2002 a 2004 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. El proyecto, con un coste total de 650.000 €, se encuentra subvencionado parcialmente por el Programa PROFIT del Ministerio de Ciencia y Tecnología [Romero, Egea, Gázquez y García, 2002]. La fase primera, desarrollada durante el año 2002, contempló las tareas de di-

seño electrónico e informático junto con la fabricación de un heliostato prototipo y una validación de los diseños. Asimismo durante el año 2002 se inició el acopio de buena parte de los materiales y equipos necesarios para el montaje de los controles locales en el campo a realizar en el año 2003.



Figura 33. Prototipo de heliostato autónomo en el campo CRS y detalle de los componentes desarrollados dentro del proyecto PCHA

El diseño electrónico del prototipo, ha conllevado el diseño y montaje de una tarjeta electrónica servo, para el control de motores a 12Vcc. Esta tarjeta permite controlar dos velocidades de motor y dos sentidos de giro con un rendimiento del 90%. También se ha diseñado y fabricado la tarjeta electrónica interfase, para la señalización de entrada/salida. Por último se ha diseñado y montado la placa de control. Esta placa ha sido especialmente diseñada para su uso en el control de seguidores solares y heliostatos. Basada en el empleo de dos microcontroladores de 8 bits y uso general, ha sido empleada con éxito en numerosos prototipos en la PSA. En junio de 2002 se completo el montaje de los nuevos componentes en el heliostato CRS. Estos componentes han sido: los motorreductores, la placa fotovoltaica, la batería, el cargador, y el radiomodem. En agosto de 2002 se finalizó la construcción de la caja de control local. El montaje de todo el heliostato prototipo finalizó en diciembre de 2002. Los ensayos preliminares realizados en noviembre y diciembre han permitido sentar las bases para la realización de un segundo prototipo mejorado a comienzos de 2003.

EL PROYECTO SOLAIR

El receptor constituye el auténtico núcleo de cualquier sistema de torre de potencia, siendo el elemento que mayor complejidad tecnológica encierra, por la necesidad de absorber la radiación incidente con las menores pérdidas y en unas condiciones de flujo concentrado muy exigentes. Dentro de las distintas opciones de fluidos térmicos y configuraciones de intercambio de calor, la PSA ha venido centrando sus investigaciones desde el año 1986, en el desarrollo de los receptores solares volumétricos refrigerados por aire. Los receptores volumétricos están específicamente concebidos para optimizar el intercambio de calor con aire como fluido térmico, siendo el absorbedor iluminado una matriz o medio poroso (malla metálica o monolito cerámico), a través del cual fluye el gas de refrigeración. La PSA atesora la mayor experiencia en el ensayo y evaluación de receptores solares volumétricos refrigerados por aire, con más de 15 prototipos ensayados en los últimos 20 años, en colaboración con el DLR [Téllez, Romero, Reche y Valverde, 2002].

El proyecto SOLAIR tiene por objeto el conseguir un receptor volumétrico de aire con absorbedor cerámico de SiC capaz de producir aire caliente a 700°C, mediante el uso de un concepto modular y fácilmente escalable a grandes plantas. El uso de una matriz cerámica permite además mejorar la durabilidad del absorbedor, y su diseño en copas modulares permite eliminar las inestabilidades fluidodinámicas encontradas en diseños anteriores. Por último se incorpora un nuevo sistema de recirculación de aire, que permite alcanzar relaciones de recirculación próximas al 70%. El proyecto SOLAIR es un proyecto Europeo con financiación de la CE y con participación de CIEMAT, SOLUCAR e IBERESE (España), HelioTech (Dinamarca), DLR (Alemania) y CPERI (Grecia). CIEMAT tiene un papel muy activo en este proyecto, liderando los ensayos y evaluación de los prototipos, realizando el análisis y optimización del sistema de recirculación de aire caliente mediante el uso de códigos de dinámica de fluidos como FLUENT, seleccionando la geometría de los cabezales del material cerámico y realizando el análisis termomecánico de la estructura con el código ANSYS.

El proyecto SOLAIR inició su andadura en el año 2000, y los años 2000 y 2001 sirvieron para seleccionar el material cerámico más adecuado, cualificarlo mecánica y térmicamente en el horno solar que DLR posee en Colonia, y diseñar y fabricar los primeros prototipos de copas cerámicas. Durante esta etapa, CIEMAT contribuyó activamente al estudio y optimización del sistema de recirculación de aire [Marcos y Romero, 2002] y al diseño aerodinámico de las copas [Marcos, Romero y Palero, 2002]. Posteriormente se procedió al diseño y fabricación de la estructura soporte y se fabricó un prototipo de 200 kW que fue instalado en la PSA en noviembre de 2001.

La campaña de ensayos del prototipo SOLAIR-200 se ha extendido durante 50 días de operación solar a lo largo del año 2002. Los ensayos han demostrado la resistencia termomecánica de la estructura, acumulándose casi 200 horas de operación solar. Durante los mismos se ha alcanzado un flujo de radiación incidente de 900 kW/m² y temperaturas de salida del aire de 750°C, con una eficiencia térmica del receptor del 80% a 700°C. Estos resultados han mejorado lo especificado para el prototipo [Hoffschmidt, Fernández, Pitz-Paal, Romero, Stobbe, Téllez (2002)].

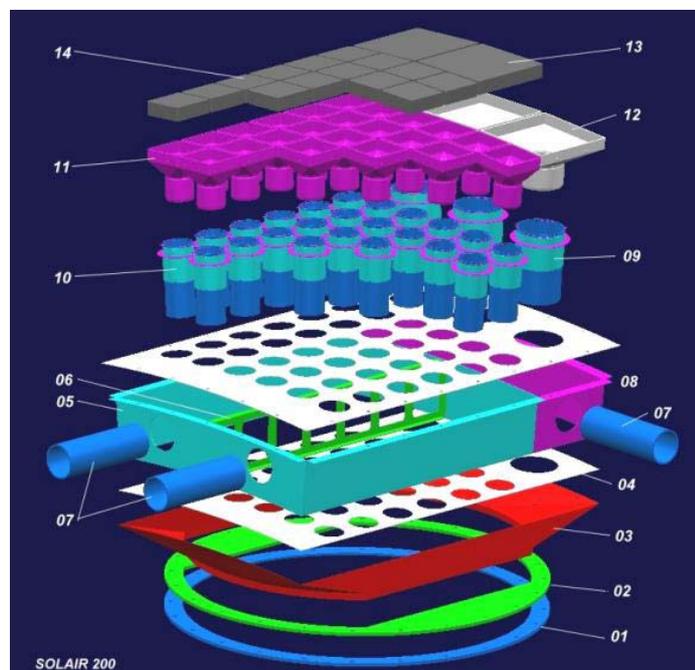


Figura 34. Despiece de los elementos que componen el prototipo SOLAIR-200 ensayado en la PSA en el año 2002. Los elementos 1 a 8 conforman la estructura soporte y acometida y succión de aire. Los elementos 9 y 10 corresponden con los cilindros metálicos que sirven de guía a las copas cerámicas (11 y 12). Por último los elementos 13 y 14 representan dos tipos distintos de absorbedores cerámicos de SiC, de distinto tamaño.

En el año 2002 se ha iniciado la ingeniería de un prototipo de receptor solar de 3 MW. El prototipo de 3 MW se instalará en la torre CESA-I de la PSA y será ensayado durante el año 2003. Su configuración modular ha sido concebida para su posible aplicación en el proyecto PS10, tal y como se ha descrito con anterioridad en el apartado dedicado a este proyecto de demostración.

LOS PROYECTOS SOLGATE Y HST

El receptor SOLAIR se encuentra abierto a la atmósfera y por tanto produce aire caliente a presión atmosférica. En este caso 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, Romero y Pacheco, 2002].

Durante el año 2002, el principal desarrollo o aplicación en la PSA utilizando el receptor presurizado tipo REFOS ha estado recogido en el proyecto SOLGATE. Este proyecto persigue la solarización de una turbina Rolls-Royce Allison 250 C20B de 240 kW y su conexión a un cluster con tres receptores REFOS, así como la realización de diversos estudios de viabilidad para identificar posibles aplicaciones de la tecnología REFOS en turbinas de gas comerciales [Sugarmen, Ring, Buck, Uhlig, Beuter, Marcos y Fernandez, 2002]. 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), SOLUCAR (España) y TUMA (Suiza).

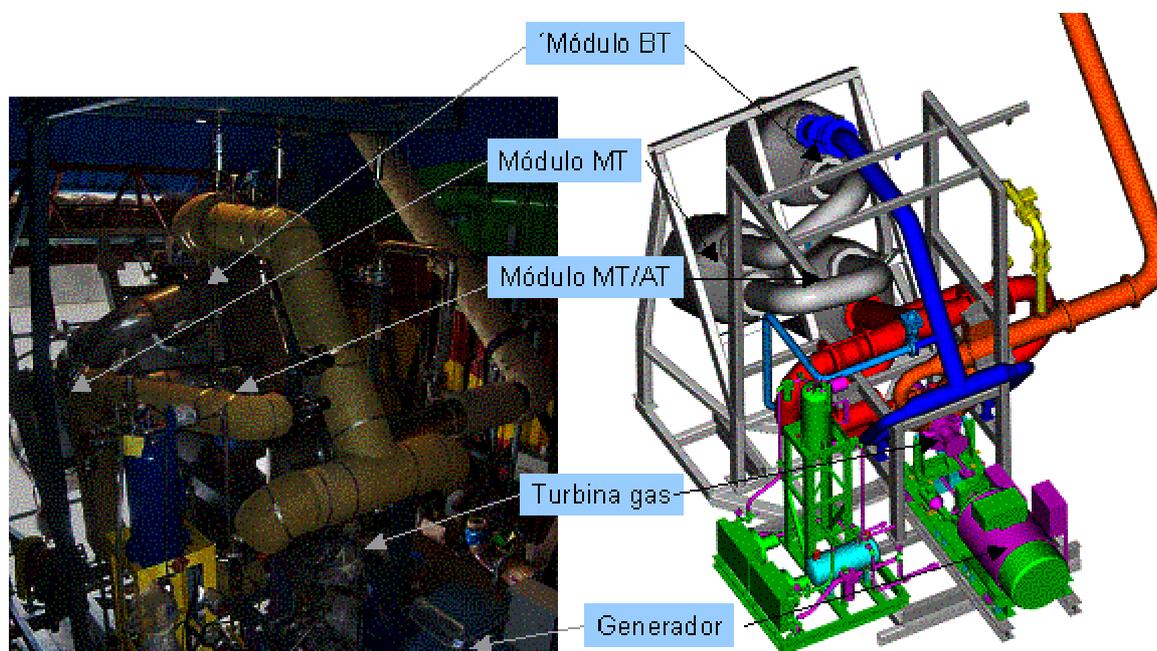


Figura 35. Sistema SOLGATE de 240 kWe instalado en la torre CESA-I de la Plataforma Solar de Almería.

En la figura se muestra el sistema SOLGATE, ubicado en la torre a una altura de 60 m sobre el nivel del suelo. Los principales componentes son los tres módulos receptores (de alta, media y baja temperatura) que se encuentran conectados en serie, la turbina de gas y el generador. En la apertura de la cavidad se ubicó una persiana rápida, que

permite cerrar el sistema en caso de emergencia en un tiempo de 1,6 segundos. La instalación fue montada durante el año 2002. Se comenzó a instalar los primeros componentes en abril de 2002 y se finalizó en noviembre de 2002. Después de los primeros ajustes y de la instalación de los correspondientes sistemas de seguridad, el sistema comenzó sus primeros ensayos con radiación solar el 15 de diciembre de 2002. En estos ensayos preliminares ya se consiguió un 60% de contribución solar y se pudo comprobar que el sistema de control no tenía problemas para reaccionar adaptando el caudal de fuel incluso durante condiciones de transitorios. Cuando se alcanzaban las condiciones de diseño, se introducían 55 helióstatos sobre el receptor que suministraban 1 MW de potencia solar. El objetivo fijado para la primavera de 2003 es alcanzar 800°C en el aire, y rendimientos del 18% en el sistema y del 80% en el receptor. CIEMAT ha participado activamente en este periodo en la realización de los ensayos y en la evaluación de los resultados. Asimismo se ha generado en colaboración con DLR un software para la simulación de la producción anual de la turbina, utilizando el código STEC-TRNSYS, y también para la simulación óptica del campo con el código HLFICAL.

Si bien el objetivo fundamental en esta etapa del proyecto SOLGATE es la inyección en la cámara de combustión de la turbina, del aire caliente proporcionado por el receptor solar, a una temperatura de 800°C, se pretende en la segunda fase, en el año 2003, aumentar esta temperatura hasta los 1000°C, mediante la instalación de un receptor de alta temperatura con absorbedor cerámico. En paralelo a esta actividad, se ha iniciado un desarrollo todavía más ambicioso donde se pretende poder alcanzar los 1100°C. Este desarrollo está amparado por el proyecto HST (Hocheffiziente Solarturm-Technologie - Tecnología de torre solar de alta eficiencia), financiado por el BMU Alemán. CIEMAT participa en dicho proyecto, coordinado por DLR, cuyo comienzo tuvo lugar en enero de 2002.

PROYECTO ALTER

En la convocatoria PROFIT de 2002 se obtuvo financiación para la realización de un pequeño proyecto en colaboración con la empresa SOLUCAR y cuyo objetivo era el ensayo de nuevos elementos del núcleo en un almacenamiento térmico de una planta solar-térmica para generación eléctrica con tecnología de torre y campo de helióstatos.

En este proyecto se planteó la sustitución del material cerámico de alúmina que existía en el sistema de almacenamiento de la instalación TSA de la PSA, por un nuevo material más ligero y económico basado en sillas de montar. Con esta aproximación se pretendía abaratar sensiblemente el precio del material usado como almacenamiento térmico en plantas que utilizan aire como fluido térmico. La selección del tamaño del material a utilizar fue fruto de varias simulaciones fluido-termo-dinámicas. La zona termoclina y el factor de uso se definieron para una caída de temperatura del 1 % de la diferencia entre la temperatura caliente y fría, en la salida del almacenamiento. Los resultados obtenidos indicaban que el tamaño más adecuado es el de sillas cerámicas de 1/2 pulgada. Este es el tamaño más pequeño disponible por distintos proveedores.

El nuevo material con geometría de sillas de montar tiene mayor factor de uso, y por tanto rendimiento, que uno con geometría de bolas de igual radio hidráulico (Área de la sección perpendicular al flujo dividida por el perímetro bañado por dicho flujo). Además, el nuevo material con geometría de sillas de montar tiene menor pérdida de carga (debido a una mayor fracción de huecos o porosidad) que uno con geometría de bolas de radio hidráulico equivalente. Debido a estas características y a los ensayos realizados, se pudieron extraer las siguientes conclusiones:



Figura 36. Bolas de alúmina utilizadas con anterioridad en la instalación TSA (derecha) y nuevo material propuesto para el núcleo con forma de silla de montar (izquierda).

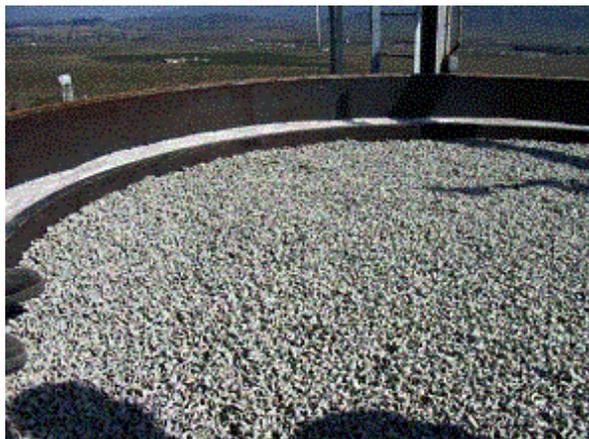


Figura 37. Vista superior del tanque de almacenamiento una vez relleno con el nuevo material cerámico.

En almacenamientos térmicos de gran capacidad para plantas termosolares la pérdida de carga se convierte en un factor limitante ya que dicha pérdida no debe sobrepasar la pérdida que se produce en el receptor. En almacenamientos pequeños, debido a que es necesario un lecho de menor volumen, la pérdida de carga no llega a ser la del receptor y por tanto no es un factor limitante.

En almacenamientos donde la pérdida de carga es un factor limitante, el nuevo material ensayado es más eficiente desde el punto de vista tecnoeconómico. Esto se debe a que la nueva configuración permite una pérdida de carga menor y por no es necesario aumentar la sección del almacenamiento para aumentar la capacidad del mismo. En un almacenamiento con sección y altura proporcionados se reduce el coste de la vasija. Estas ventajas se ven aumentada debido a que la mayor relación superficie/volumen produce un mayor factor de uso.

En almacenamientos donde la pérdida de carga no es un factor limitante, el material con geometría esférica es más eficiente tecnoeconómicamente. Esto es debido a que dicho material puede escogerse con un radio menor que las sillas de montar comercialmente disponibles. Esto permite que el factor de uso aumente. Además la mayor densidad del lecho de esferas contribuye a que sea necesario un menor volumen de almacenamiento y por tanto una vasija más barata.

DESARROLLO DE HERRAMIENTAS

Como complemento a las actividades directamente relacionadas con la ejecución de los proyectos antes mencionados, la PSA, como gran instalación de ensayo y caracterización de los sistemas de receptor central, ha seguido dedicando una parte de sus esfuerzos a la mejora y el desarrollo de nuevas herramientas de diseño y evaluación, a la mejora en los dispositivos de control y operación, y a los sistemas de medida de flujo de radiación solar concentrada.

Dentro de las herramientas de software, y tal como se ha mencionado anteriormente, se han introducido nuevos módulos en las librerías STEC-TRNSYS para la modelización anual de los sistemas tipo SOLGATE. Asimismo se ha utilizado el código FLUENT para la modelización del comportamiento fluidodinámico del aire en receptores volumétricos. Se ha continuado validando el código FIAT-LUX para su uso en la caracterización de helióstatos [Monterreal, 2002], y se han seguido generando paquetes en entorno MATLAB para la optimización de campos de helióstatos.

En el ámbito de las técnicas de medida, se ha desarrollado y probado un nuevo dispositivo de medida de radiación solar concentrada sobre el plano de apertura de un receptor solar, mediante el uso de barras de calorímetros no refrigerados, de alta velocidad de respuesta, y su combinación con sistemas de visión con cámara CCD [Ballestrín, 2002]

Por último, cabe reseñar que en el año 2002 se le ha dado un fuerte impulso a la renovación de los esquemas existentes en control de campos de helióstatos. En octubre de 2002 se firmó un convenio de colaboración científica con el grupo de investigación en Automática, Electrónica y Robótica de la Universidad de Almería, con una duración de tres años. Este convenio incluye el desarrollo de un nuevo sistema de control en tiempo real de campos de helióstatos a implementar en los campos CESA-1 y CRS de la PSA y la integración de entornos de control, adquisición y evaluación de resultados en ensayos de receptores solares en campos de torre.

Tecnología de Colectores Cilindroparabólicos

Los colectores cilindro parabólicos (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 425°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

Un CCP está compuesto, básicamente, por un espejo cilindro parabólico 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.

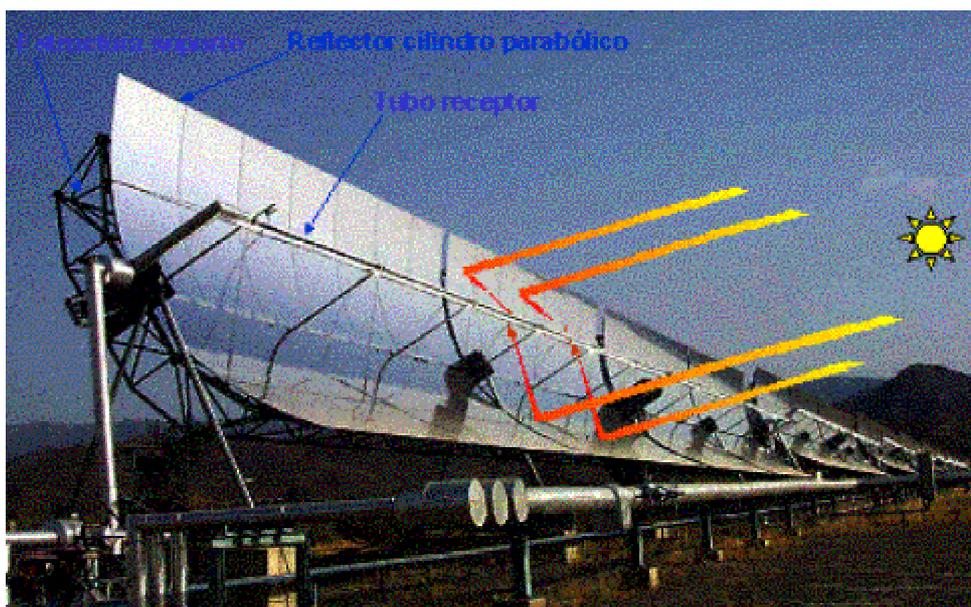


Figura 38. Principio de funcionamiento de un colector cilindroparabólico

En relación con la tecnología de los colectores solares cilindro parabólicos, 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 cilindro parabólicos. Este desarrollo se basa en tres puntos principales:

- 8) Desarrollo e implementación de componentes mejorados para colectores solares cilindro-parabólicos (nuevos absorbedores y espejos, diseños estructurales más ligeros, nuevos sistemas de seguimiento solar, etc.).
- 9) 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.
- 10) 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 cilindro parabólicos y a la generación directa de vapor podrán ser aplicadas no solamente para la generación de electricidad, sino para cualquier otra aplicación industrial térmica de la energía solar en el rango de la media temperatura (150°C – 400°C).

Las actividades desarrolladas por el CIEMAT en el año 2002 con relación a la Tecnología de Colectores Cilindro Parabólicos han estado enmarcadas en cuatro proyectos: *Eurotrough-II*, *DISS-fase I*, *INDITEP* y *PREDINCER*. A continuación se describen los resultados más relevantes conseguidos por la PSA dentro de estos cuatro proyectos en el 2002:

Proyecto EUROTROUGH-II:

El objetivo final del proyecto *EUROTROUGH* ha sido desarrollar un diseño estructural europeo de colector cilindro parabólico, idóneo no solo para la generación de electricidad con plantas termosolares, sino también para alimentar energéticamente cualquier proceso industrial que presente una demanda térmica en el rango de 150°C – 400°C. Este diseño de colector cubrirá una de las necesidades más importantes que existen actualmente para poder implementar comercialmente sistemas solares basados en colectores cilindro parabólicos.

La primera fase del proyecto *EUROTROUGH* comenzó en agosto de 1998, con una duración de 30 meses. Un consorcio formado por diversas industrias y centros de investigación Europeos (ABENGOA, CIEMAT, DLR, FICHTNER, PILKSOLAR, SBP y CRES), con la ayuda financiera de la CE dentro del programa *JOULE*, acometieron el diseño del nuevo colector cilindro parabólico. Durante esa primera fase se diseñó, fabricó e instaló en la PSA un primer prototipo del nuevo colector. La segunda fase del proyecto, comenzó en octubre del año 2000 y concluyó en diciembre del 2002, teniendo por objetivo la mejora de aquel primer diseño y su evaluación experimental en la PSA. La implementación de las mejoras al primer prototipo terminó en mayo de 2002, dedicándose el resto del año a la evaluación térmica, mecánica y óptica del prototipo mejorado, denominado diseño ET-II. En el último trimestre de 2002, el CIEMAT comenzó el diseño de un nuevo sistema electro-

mecánico para el sistema de seguimiento solar de colectores cilindro parabólicos. Este nuevo sistema solucionará un problema que resulta bastante frecuente en los colectores cilindro parabólicos: la imposibilidad de acoplar el codificador angular del sistema de seguimiento solar directamente al eje mecánico de giro del colector.

Durante el primer semestre de 2002, los trabajos llevados a cabo por el CIEMAT en la PSA dentro del proyecto EUROTROUGH-II estuvieron relacionados con la instalación de las mejoras realizadas al primer diseño de colector, colaborando en la parte eléctrica y electrónica del montaje. Durante el segundo semestre del año, el CIEMAT llevó a cabo la operación y el mantenimiento del prototipo de colector mejorado (diseño ET-II) para poder llevar a cabo su evaluación óptica, térmica y mecánica. Los resultados de dicha evaluación han puesto de manifiesto una mejora del rendimiento óptico y térmico del colector con respecto al diseño LS3 instalado por LUZ en las últimas plantas SEGS. También se ha comprobado que el diseño ET-II presenta una mayor rigidez estructural, lo que le permite poder adoptar una longitud de hasta 150 m, frente a los 100 m del diseño LS3.

En el 2002, el CIEMAT continuó mejorando el sistema de seguimiento solar implementado en el colector EUROTROUGH, de modo que se ha conseguido sustituir el codificador angular inicialmente usado para medir la posición del eje de giro del colector por un nuevo sistema electromagnético que soluciona el problema del acople de codificadores angulares al eje mecánico de giro del colector. Con las mejoras introducidas en el sistema de seguimiento solar, se sigue manteniendo una buena precisión en el movimiento de giro del colector, a la vez que se facilita el montaje mecánico del sistema. La figura a continuación (Figura 39) muestra una vista del colector EUROTROUGH-II instalado y evaluado en la PSA en el año 2002.

En el año 2002, también hemos continuado participando en el estudio del estrés que se produce en los soportes de los espejos de vidrio usados para concentradores cilindro-parabólicos del tipo LS3. En este tema, la PSA ha llevado a cabo la instalación de galgas extensiométricas en todos los soportes de uno de los espejos instalados en el nuevo co-



Figura 39. Vista del prototipo de colector EUROTROUGH instalado en la PSA

lector ET-II y se realizaron 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.

Otra de las actividades llevadas a cabo por el CIEMAT en la PSA dentro del proyecto EUROTROUGH-II durante el año 2002 fue la ampliación del sistema diseñado durante la primera fase del proyecto para detectar pequeñas torsiones en la estructura del colector. La figura siguiente (Figura 40) muestra el acople de uno de los codificadores angulares de alta resolución que integran este sistema. Se ha comprobado durante los ensayos llevados a cabo durante 2002 que la alta resolución de este sistema ($> 0,04$ mrad) y la imposibilidad de acoplar directamente al eje de giro del colector los codificadores supone un obstáculo para la estabilidad de las medidas, pero dicho problema podrá ser solucionado en un futuro muy próximo mediante dispositivos magnéticos similares al incorporado por el CIEMAT en el nuevo sistema de seguimiento solar. La figura siguiente muestra el acople de uno de los codificadores de alta resolución que componen el sistema de medida de torsiones. La imposibilidad de realizar un acople directo obligó al uso de pletinas metálicas y un acople elástico, los cuales introducen oscilaciones en las medidas de las torsiones.

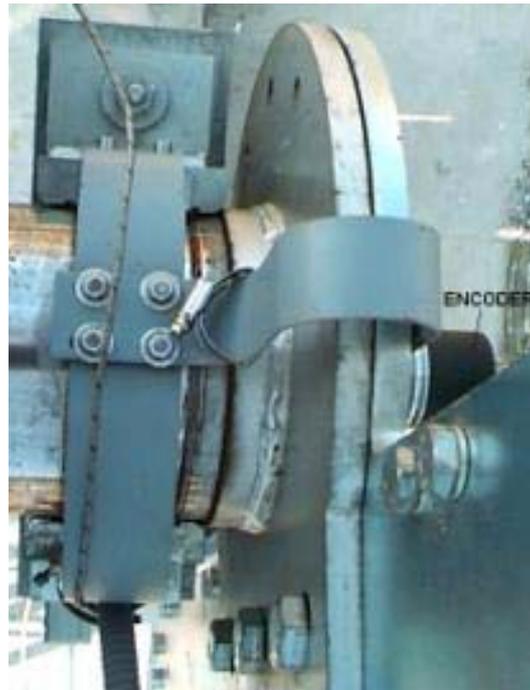


Figura 40. Vista del acople de uno de los codificadores que integran el sistema desarrollado por el CIEMAT para medir pequeñas torsiones en colectores cilindro parabólicos.

Proyecto DISS-fase II

La finalidad principal de este proyecto es el desarrollo de la tecnología de generación directa de vapor (conocida con las siglas GDV), mediante la cual se produce vapor a alta presión y temperatura en los propios tubos absorbedores de los colectores cilindro parabólicos y permite eliminar el aceite utilizado tradicionalmente como fluido de trabajo en los colectores solares de este tipo. El proyecto DISS-fase II comenzó en diciembre de 1998 y aunque el contrato firmado para su desarrollo por la Comisión Europea y los socios (CIEMAT, Abengoa, DLR, ENDESA, IBERDROLA, Flabeg Solar Internacional y ZSW) finalizó oficialmente en diciembre del año 2001, el CIEMAT ha continuado su actividad en este proyecto durante el año 2002. En el primer trimestre del año 2002 se elaboraron los informes finales del proyecto, con una descripción detallada de las actividades llevadas a cabo y los resultados conseguidos, los cuales han sido publicados por el CIEMAT en un libro bajo el título de "Project DISS-phase II: Final Report" (ISBN: 84-7834-427-6). También se ha continuado operando la planta experimental DISS existente en la Plataforma Solar de Almería (PSA). En el año 2002, el CIEMAT ha continuado con la evaluación de los datos experimentales obtenidos durante los ensayos llevados a cabo durante el periodo 1999-2001 y se han continuado los ensayos sobre control, evaluando diversos algoritmos de control del campo solar GDV de la planta DISS.

Otra de las actividades llevadas a cabo por el CIEMAT en el 2002 ha sido el desarrollo de diversos modelos de simulación de la planta experimental DISS, tanto en condiciones estacionarias como transitorias. Los modelos desarrollados permiten predecir el comportamiento de la planta bajo diversas condiciones de operación. Una de las aplicaciones de los modelos desarrollados es la de conocer el título de vapor en los diferentes puntos a lo largo de la fila de colectores. La Figura 41 muestra una comparación entre los datos experimentales y los proporcionados por el programa de simulación SIMDISS, para un día en el que se operó la planta a 100 bar (10 MPa). Como puede apreciarse en la figura, los resultados experimentales concuerdan muy bien con los proporcionados por el programa de simulación.

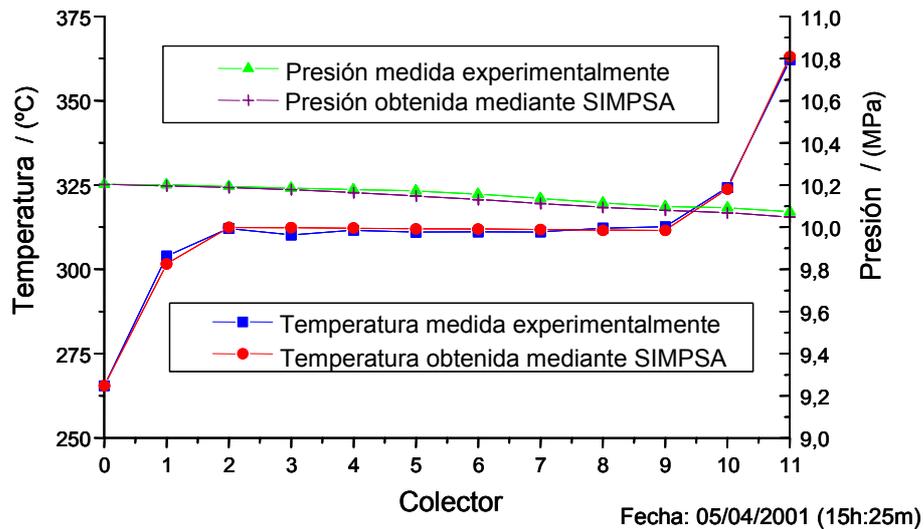


Figura 41. Comparación entre los datos experimentales reales y los resultados proporcionados por el programa de simulación SIMDISS del campos solar de la Planta DISS, para una presión de trabajo de 100 bar (10 MPa).

En lo referente al control y regulación, cabe destacar que se han perfeccionado los esquemas de control para el campo solar de la planta DISS cuando opera en Recirculación y Un-solo-paso, consiguiendo mantener muy estables la temperatura y presión del vapor a la salida de la fila de colectores DISS. La figura muestra los resultados consigui-

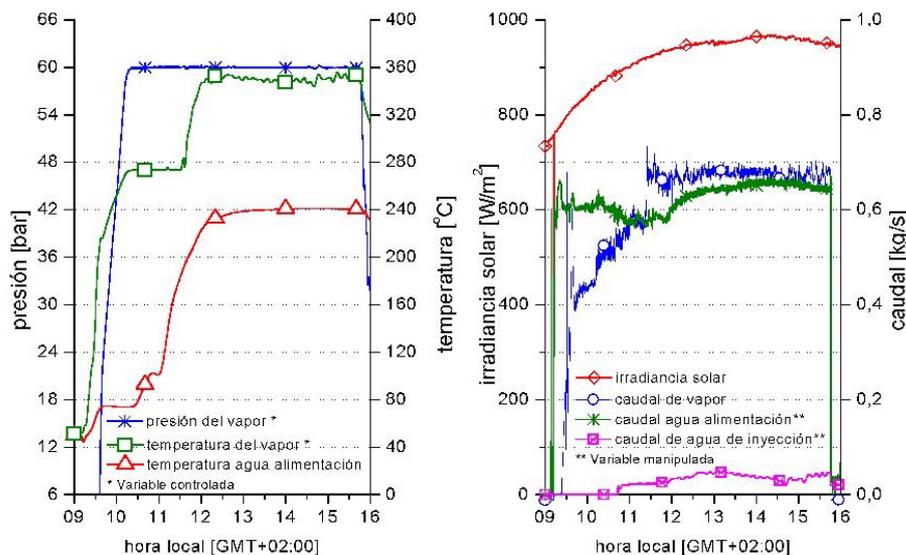


Figura 42. Datos experimentales de operación de la planta DISS el día 17 de julio de 2003, generando vapor sobrecalentado a 60 bar y 350 °C.

dos el día 17 de julio de 2002 cuando la planta operó con control automático a partir de las 12:00 (hora local), produciendo vapor sobrecalentado a 60 bar y 350 °C en modo Un-solo-paso (Figura 42). Se aprecia en la figura que la presión del vapor producido se mantuvo totalmente constante, mientras que la temperatura solo tuvo fluctuaciones muy pequeñas.

Desde enero hasta diciembre de 2002, se operó la planta DISS un total de 965 horas, lo cual ha permitido aumentar de forma importante la experiencia acumulada hasta el momento en lo referente a la operación y mantenimiento de colectores cilindro parabólicos cuando trabajan con generación directa de vapor. Con las horas de operación realizadas en el 2002, se han acumulado un total de 4573 horas totales de la planta DISS, lo que proporciona una buena base para realizar extrapolaciones a plantas comerciales futuras que trabajen con generación directa de vapor. El proceso de *Recirculación* se ha continuado consolidado como el mejor candidato de los tres procesos GDV básicos (*Inyección*, *Un-solo-paso* y *Recirculación*) para plantas solares que funcionen con generación directa de vapor.

En lo referente a la operación y mantenimiento de la planta experimental DISS hay que mencionar también la barrera que continúa siendo la bomba de agua de recirculación. Aunque la implementación de un sistema de lubricación de las empaquetaduras en el año 2001 supuso una mejora apreciable en el funcionamiento de la citada bomba, la ausencia total de colaboración por parte de las empresas responsables del suministro y fabricación de la bomba (las empresas BW-IP y Nacional Oil-well) ha supuesto un handicap para lograr un funcionamiento adecuado de este equipo, ya que requiere de un mantenimiento muy costoso. Ha quedado claro que para plantas GDV comerciales es necesario prescindir de bombas como la instalada en la planta experimental DISS, siendo recomendable el uso de bombas centrífugas en vez de bombas de pistones.

Otra de las actividades llevadas a cabo en el año 2002 dentro del proyecto INDITEP ha sido el desarrollo de software específico para estudios de viabilidad y simulación de campos de colectores cilindro parabólicos, usando el entorno TRNSYS. Se han desarrollado nuevas subrutinas y programas de cálculo que serán completadas con aquellas cuya elaboración está prevista para el año 2003. Una vez concluido, este paquete de software será usado en el año 2003 para simular el comportamiento anual del campo solar GDV que está siendo diseñado en el proyecto INDITEP para una primera planta termosolar GDV comercial de 5 MWe.

Para finalizar la descripción de las actividades llevadas a cabo por la PSA en el 2002 dentro del marco de trabajo del proyecto DISS II, hay que decir que se ha concluido el estudio del comportamiento de sistemas capilares integrados en el interior de tuberías con la finalidad de utilizarlos como sistemas de mejora de la transferencia de un flujo externo de energía aplicado sobre tuberías horizontales en régimen de flujo bifásico estratificado.

Los sistemas capilares estudiados han sido microcanales excavados en la superficie interior de la tubería, con diferentes configuraciones y características, y medios porosos, ya sea en forma de recubrimientos internos o por medio de una malla o tela metálica adosada a la superficie interior de la tubería. La investigación llevada a cabo se ha dividido en una parte teórica, donde se analizan y critican los modelos existentes y sus implicaciones, proponiéndose una nueva formulación para los modelos de medios porosos, y una parte experimental, donde, tras diseñar un experimento apropiado para poder medir el alcance angular de la película de líquido desarrollada por los sistemas capilares -y responsable de la mejora de la transferencia de calor- y una herramienta adecuada para la interpretación de los datos experimentales, se han realizado en torno a unos 125 ensayos con un total de 7 muestras. A partir de los resultados experimentales se han verificado los modelos teóricos propuestos, analizando y proponiendo explicaciones a la divergencia de los comportamientos experimentalmente encontrados respecto a los teóricamente esperables. Demostrada la validez de los modelos teóricos, se han calculado las propie-

dades óptimas de este tipo de sistemas para la generación directa de vapor solar con los colectores solares cilindro parabólicos más usados para la generación de electricidad, es decir, para el receptor de un colector tipo LS3 o EuroTrough.

Proyecto INDITEP

El proyecto INDITEP comenzó oficialmente el día 1 de julio de 2002 y tiene una duración de 36 meses. Cuenta con la ayuda financiera de la Comisión Europea (contrato nº ENK5-CT-2001-00540) y las actividades planificadas dentro del proyecto INDITEP constituyen la lógica continuación técnica de las actividades llevadas a cabo dentro del proyecto DISS. Una vez que la viabilidad técnica del proceso de Generación Directa de Vapor (GDV) en colectores cilindro parabólicos fue demostrada en el proyecto DISS, el próximo paso lógico debe ser la optimización del proceso y de sus componentes esenciales, a la vez que se puede acometer el diseño de detalle de una primera planta termosolar comercial que produzca electricidad mediante la producción directa de vapor en el campo solar.

Hay cuatros objetivos básicos dentro del proyecto INDITEP:

- 1) Diseño de detalle de una primera planta GDV comercial de 5 MWe
- 2) Optimización y desarrollos avanzados de componentes para hacer la tecnología GDV más competitiva (separadores agua/vapor compactos y económicos, almacenamiento térmico para GDV, etc.).
- 3) Caracterización bajo condiciones solares reales de los componentes más importantes para campos solares GDV.
- 4) Estudio socio-económico de la tecnología GDV.

La mayor parte de los Socios del proyecto INDITEP (IBERDROLA, ABENGOA, CIEMAT, DLR, Flabeg Solar, GAMESA, INITEC, SIEMENS y ZSW).participaron también en el proyecto DISS. La participación del CIEMAT en el proyecto INDITEP se centra en las siguientes actividades:

- Participación en la ingeniería de detalle de la planta GDV de 5 MWe
- Mejorar el campo solar de la planta DISS existente en la PSA para aumentar la producción de vapor hasta 1 kg/s
- Operar y mantener la planta DISS con el fin de elaborar procedimientos de operación y mantenimiento para plantas GDV comerciales, así como para evaluar nuevos separadores agua/vapor, sistemas de almacenamiento térmico y nuevos reflectores.
- Mejorar el sistema de regulación y control del campo solar de la planta DISS de la PSA.
- Realizar un análisis del estrés que se ha producido en los tubos absorbedores de los colectores DISS después de más de 4000 horas de operación.
- Desarrollar nuevos recubrimientos selectivos capaces de soportar temperaturas de hasta 550 °C.

En el año 2002, las actividades del CIEMAT han estado principalmente centradas en dos temas:

1. La mejora del campo solar de la planta DISS existente en la PSA para aumentar la producción de vapor sobrecalentado hasta 1 kg/s.
2. desarrollo de nuevos recubrimientos selectivos mediante la técnica Solgel

En lo referente a la mejora del campo solar DISS, el CIEMAT empezó a gestionar en el año 2002 la compra de los dos colectores EuroTrough de 100 m que se añadirán al campo solar existente, lo que aumentará su área de captación desde 2765 m² hasta los

3871 m². Se adquirieron las estructuras metálicas y la instrumentación asociada a estos dos colectores (transmisores de presión, termopares y piranómetros). La figura adjunta muestra el esquema simplificado que tendrá el campo solar de la planta DISS una vez que se le añadan los dos nuevos colectores, denominados A y B en la figura, al comienzo de la fila de colectores.

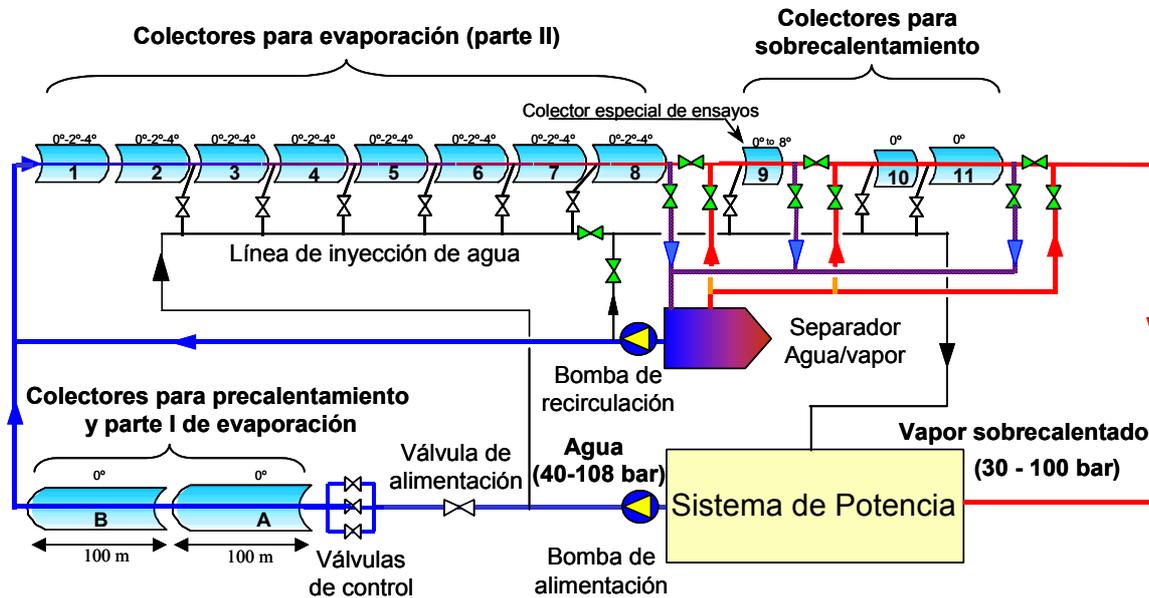


Figura 43. Esquema simplificado del campo solar de la planta DISS una vez que se le incorporen en el proyecto DISS los dos nuevos colectores EuroTrough de 100 m.

En relación con los recubrimientos selectivos a base de Solgel, durante el año 2002 se ha continuado con el desarrollo de recubrimientos tipo cermet para los tubos absorbedores de colectores cilindro parabólicos. También se ha trabajado en el desarrollo de recubrimientos antirreflectantes para la cubierta de vidrio de dichos tubos. Se ha obtenido un absorbente selectivo, sobre acero inoxidable, compuesto por dos capas de un cermet de alúmina y platino con diferente contenido metálico, una capa H con un 40% de platino y otra L con un 20% de platino, sobre un reflector infrarrojo de platino. Su reflectancia hemisférica en el espectro solar se muestra en la figura siguiente, donde se aprecia que se ha logrado una absorptancia solar, integrada con el espectro AM1.5, de 0,94 y su emisividad térmica a 400°C es de 0,12. Su estabilidad térmica en aire es superior a 400°C y se están realizando ensayos a 500°C con resultados prometedores.

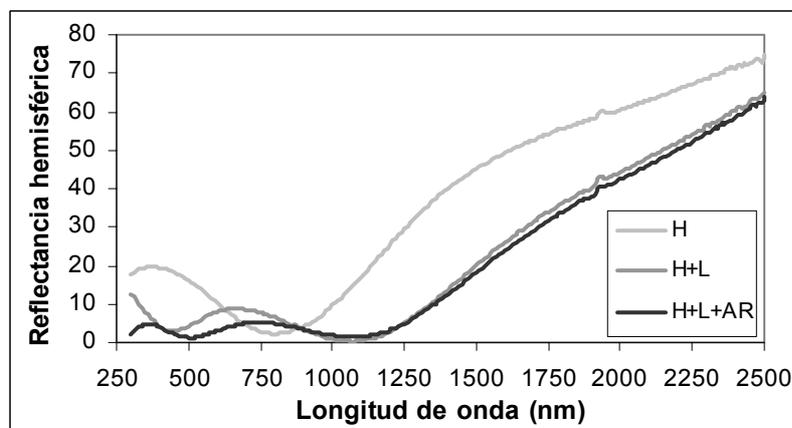


Figura 44. Reflectancia hemisférica del absorbente desarrollado en función del número de capas.

Los ensayos llevados a cabo en el año 2002 con los recubrimientos antirreflectantes desarrollados por el CIEMAT para vidrio han mostrado que se consigue una transmitancia solar de 0,97, pero presentan un ligero carácter higroscópico a temperatura ambiente debido a su elevada porosidad, que hace que la transmitancia disminuya hasta 0,95. Se ha comprobado experimentalmente que a 70°C, temperatura de la cubierta de vidrio en operación, se elimina el agua y se recupera el valor inicial de transmitancia.

Proyecto PREDINCER:

El proyecto PREDINCER es un proyecto de I+D de ámbito nacional, que cuenta con la financiación parcial del Ministerio de Ciencia y Tecnología. Dentro de este proyecto el CIEMAT colabora con las Universidades de Almería y Sevilla, para desarrollar y evaluar nuevos algoritmos de control para campos solares con colectores cilindro parabólicos. Este proyecto comenzó en Septiembre de 2002 y cuenta con una duración de 36 meses. Dada la fecha de comienzo de este proyecto, no se llevaron a cabo actividades relevantes en el 2002, debido al periodo de tiempo que es necesario dedicar en este tipo de proyectos a la preparación de las actividades planificadas.

Otras actividades en el año 2002:

Además de las actividades llevadas a cabo dentro de los proyectos: EUROTROUGH, DISS-II e INDITEP, la PSA ha realizado otras actividades en el año 2002 relativas a la tecnología de colectores solares cilindro parabólicos. Entre estas actividades caben destacar dos:

- Apoyo y asesoramiento técnico a aquellas empresas españolas que han mostrado su interés por la tecnología de los colectores cilindro parabólicos 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 cilindro parabólicos. Como consecuencia de esta actividad, la PSA participará en diversas propuestas de proyectos presentadas a la primera convocatoria del VI Programa Marco de la Comisión Europea.

Química Solar

Introducción

La finalidad general de esta actividad dentro de la PSA es la de sentar las bases científico-técnicas que permitan desarrollar la tecnología necesaria para la utilización de la radiación solar en procesos químicos de marcado carácter medioambiental. Dentro de estos procesos, reciben una atención especial los basados en el uso de la banda ultravioleta del espectro solar para la destrucción de compuestos tóxicos y residuos industriales en fases acuosa y gaseosa (detoxificación solar) y aquellos que conllevan la aplicación de la radiación solar para la purificación (desinfección solar) y obtención de agua (desalinización solar). Como objetivos más específicos o Tareas del Proyecto se encuentran los siguientes:

- Desarrollo y optimización de la tecnología solar de detoxificación mediante fotocatalisis, a nivel pre-industrial, para el tratamiento eficiente de contaminantes orgánicos persistentes disueltos en agua, procedentes de procesos químicos industriales y del uso intensivo de pesticidas en actividades agrícolas.

- Desarrollo y optimización de la tecnología solar (ingeniería, fotorreactor y catalizador monolítico adecuado) para la detoxificación fotocatalítica de VOCs (Contaminantes Orgánicos Volátiles) que permitan la destrucción fotocatalítica, con alto rendimiento, de compuestos orgánicos volátiles y semi-volátiles persistentes en emisiones gaseosas procedentes de actividades industriales.
- Desarrollo de la tecnología básica para la desinfección de agua para consumo humano en localizaciones rurales de países en vías de desarrollo, mediante la aplicación de procesos fotoquímicos basados en el uso de la luz solar.
- Desarrollo y mejora de la tecnología de desalinización solar de agua de mar con el fin de reducir los costes de los sistemas basados en el uso de la energía solar para acercarlos a los umbrales de rentabilidad de las tecnologías convencionales [Blanco y col., 2002(a)].
- Exploración de la viabilidad técnica y económica de otros procesos de la Química Solar de alta temperatura para la producción de hidrógeno o gas de síntesis y otros procesos químicos con significativo potencial de aplicación en España (procesos de almacenamiento termoquímico, tratamiento y reciclado de residuos contaminantes a solar a alta temperatura, reformado solar de metano, etc).
- Diseño, construcción y ensayo de instalaciones tamaño piloto de los distintos desarrollos anteriores, con el fin de obtener datos básicos de viabilidad.

Para la consecución de estos objetivos, durante al año 2002, se ha estado trabajado activamente en los siguientes temas:

5) Procesos de detoxificación solar de efluentes líquidos

- Desarrollo y evaluación de una Planta Piloto para el tratamiento integrado de residuos de envases fitosanitarios para su valorización y reciclaje incorporando en el proceso un sistema de fotocátalisis solar (Proyecto MCYT).
- Desarrollo, construcción y ensayo de planta industrial para el tratamiento del agua de lavado de envases de productos fitosanitarios procedentes de la agricultura intensiva en la provincia de Almería (Proyecto LIFE)
- Se ha concluido con éxito el Proyecto "Aplicación de la fotocátalisis a la depuración de efluentes residuales de la industria papelera. Diseño de una instalación solar para el tratamiento de dichos efluentes". MCYT (proyecto AMB99-1212-C03-03).
- Programa Europeo de Acceso a Grandes Instalaciones (IHP) en el área de fotocátalisis solar.

6) Procesos de detoxificación solar en fase gaseosa

- Destrucción fotocatalítica de especies precursoras y generadoras de malos olores en instalaciones de saneamiento de aguas residuales (Proyecto MCYT- PROFIT).
- Eliminación de contaminantes orgánicos persistentes en efluentes gaseosos mediante foto-oxidación avanzada (Proyecto MCYT).
- Desarrollo y evaluación de un sistema de tratamiento fotocatalítico para la desodorización y desinfección de aire interior de edificios (Proyecto CAM).

7) Procesos de desinfección solar de agua potable

- Desarrollo de un sistema autónomo para la desinfección de agua para consumo humano mediante la aplicación de procesos fotoquímicos basados en el uso de la luz solar. Inicio de dos proyectos europeos dentro del programa INCO de cooperación internacional para explorar su aplicabilidad en regiones rurales aisladas de la región Iberoamericana y norte de África, respectivamente.

8) Procesos de desalinización solar de agua de mar

- Desarrollo de una tecnología híbrida de desalinización avanzada solar-gas basada en colectores solares estáticos y con residuo cero. Diseño, construcción y ensayo de planta piloto experimental (Proyecto europeo).
- Desarrollo de una tecnología híbrida de desalinización avanzada solar-gas basada en colectores solares estáticos (Proyecto MCYT complementario del anterior).
- Diversas actividades y colaboraciones dentro del Programa Europeo de Acceso a Grandes Instalaciones (IHP) en el área de desalinización solar.

9) Otros procesos medioambientales de Química Solar

- Síntesis solar de compuestos de química fina: funcionalización catalizada selectiva de acetilenos terminales mediante compuestos de coordinación en medio acuoso (Proyecto MCYT).
- Programa Europeo de Acceso a Grandes Instalaciones (IHP) en el área de síntesis solar de compuestos de química fina fotocatalisis solar.

Entre los resultados más destacables obtenidos en el año 2002 cabe destacar la conclusión satisfactoria de dos tesis doctorales dentro del grupo de Química Solar, un total de 10 publicaciones con referato en revistas internacionales con índice de impacto científico, la edición de un número monográfico de la revista científica *Catalysis Today* "Recent developments of photocatalysis in Iberoamerica" (Vol. 76, 2002), la solicitud de dos nuevas patentes, la reanudación en la PSA la actividad en Desalación de agua de mar mediante energía solar y, como nueva actividad, el inicio de proyectos para la desinfección de agua potable mediante luz solar.

Esta amplia e intensa labor, sostenida durante los últimos años, ha motivado que el grupo de Química Solar cuente actualmente con un elevado prestigio y su labor este ampliamente reconocida internacionalmente. En las siguientes secciones se describen de forma resumida los principales proyectos y actividades desarrollados durante 2002.

Tratamiento de aguas de papelera

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), ha concluido en el año 2002. El proyecto se ha realizado en colaboración con la Univ. Autónoma de Barcelona y su objeto era la aplicación de la fotocatalisis a la eliminación de los contaminantes orgánicos presentes en los efluentes de blanqueo de pasta de papel para llegar al dimensionamiento de una instalación para el tratamiento de estos efluentes, a partir de la realización de ensayos con luz solar en planta piloto.

Para el desarrollo de este proyecto se ha utilizado un planta piloto, existente en la Plataforma Solar de Almería desde 1994, formada por 6 colectores Cilindro-Parabólico Compuestos (CPCs) montados sobre una plataforma con 37° de inclinación (latitud local). Cada uno de estos módulos tiene una superficie de 8,9 m² y un volumen de fotorreactor de 108 L (247 L de volumen total de la planta). Cada módulo CPC mide 1,22 m de ancho por 1 m de largo y tiene 8 reflectores CPC en paralelo (152 mm de ancho) con receptores tubulares transparentes a la radiación UV (48 mm de diámetro). El ángulo de apertura de los colectores es de 60° con respecto a la normal. El material reflectante es aluminio (reflectividad UV: 0,829 a 300 nm, 0,861 a 325 nm, 0,834 a 350 nm y 0,810 a 375 nm) y el material de los tubos absorbedores es un polímero fluorado (transmisividad UV: 0,735 a 300 nm, 0,765 a 325 nm, 0,780 a 350 nm y 0,822 a 375 nm). Los módulos están montados en parejas sobre una plataforma con una inclinación de 37° sobre la horizontal. Los 6 módulos están conectados en serie y el agua pasa directamente de uno a otro y finalmente a un tanque. Una bomba centrífuga devuelve el agua a los colectores [Malato y col., 2002(b)].

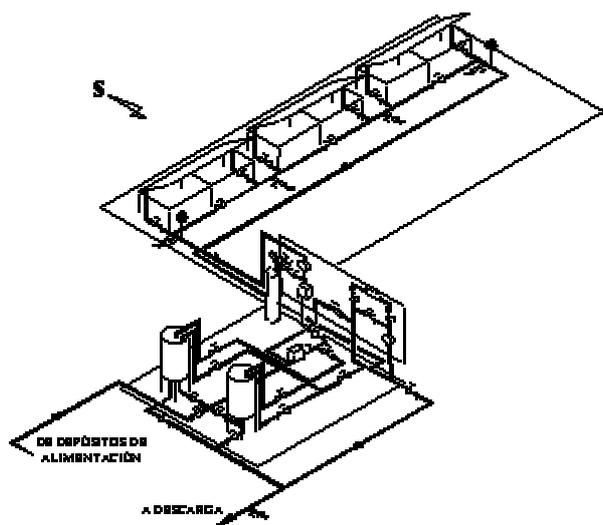


Figura 45. Esquema de la planta piloto basada en colectores Cilindro-Parabólico Compuestos – CPC- utilizada en la parte experimental del presente proyecto



Figura 46. Vista general de la instalación de la Plataforma Solar de Almería posteriormente mejorada en base a las experiencias realizadas

En esta instalación experimental se han desarrollado los experimentos para la degradación de aguas procedentes de efluentes de papelera abordando, en una primera fase, la degradación del fenol como uno de los principales compuestos problemáticos. En estos experimentos se utilizó dióxido de titanio Degussa P-25 (200 mg/L) y peroxidisulfato como oxidante adicional, aplicándolo directamente sin ningún tratamiento previo o purificación. Las mezclas de TiO_2 y agua se prepararon añadiendo el polvo en el tanque experimental, obteniendo una suspensión lechosa.

En una segunda fase del proyecto, se llevaron a cabo ensayos en condiciones reales de exposición solar de una muestra de agua industrial suministrada por la empresa CELESA (Tarragona, España). Para ello se realizaron añadiendo 200 mg/L de TiO_2 a la muestra de efluente residual y haciéndola circular por el colector. En algunos ensayos, se añadió también peroxidisulfato con el fin de favorecer la degradación de los compuestos orgánicos recalcitrantes presentes en la muestra. El uso de esta sustancia ha demostrado ser altamente beneficioso para el proceso.

En función de las experiencias realizadas y los resultados obtenidos, el procedimiento

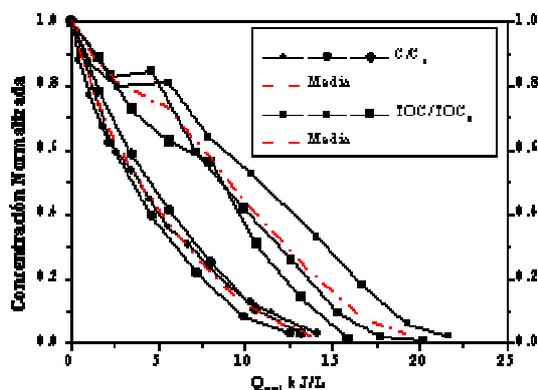


Figura 47. Degradación de fenol ($C_0=20$ mg/L) mediante fotocatalisis solar: evolución de la concentración (C) y Carbono Orgánico Total (TOC) normalizados en función de la energía acumulada. $[TiO_2]=200$ mg/L; $pH_0=5$

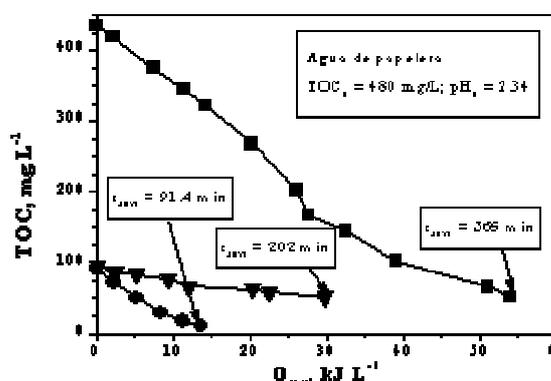


Figura 48. Degradación del TOC de muestra de CELESA respecto a Q_{UV} a distintas condiciones: ● Agua diluida 5 veces. $[S_2O_8^{2-}]_0 = 15$ mM; ■ Agua sin diluir. $[S_2O_8^{2-}]_0 = 67$ mM; ▼ Agua diluida 5 veces y sólo TiO_2

de cálculo del tamaño del campo solar necesario para tratar el efluente analizado sería como sigue:

- Proceso de fotocatalisis más adecuado: TiO_2 (200 mg/L) más $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ (50 mM).
- Efluente sin diluir, con una concentración inicial de TOC de 480 mg/L.
- Se considera que tratamiento está finalizado cuando el TOC final alcanza el valor de 150 mg/L. Este valor es meramente orientativo y se supone que equivale a un nivel de degradación a partir del cual el efluente es ya biodegradable y puede ser transferido a un tratamiento biológico convencional. Estudios específicos adicionales serían obviamente requeridos para determinar el nivel adecuado de tratamiento fotocatalítico que permita alcanzar un nivel efectivo de biodegradabilidad.
- Se supone un volumen total de agua a tratar de 10,000 m³ anuales. En caso de que este volumen sea diferente, bastará con aplicar el factor resultante al tamaño de campo solar obtenido.
- Se supone una disponibilidad anual de 3,000 horas de operación de la planta solar.
- Se considera un valor medio de irradiancia global UV (de orto a ocaso) de 18 W m⁻², (valor razonable dentro del área mediterránea de nuestro país).
- La energía solar media necesaria para degradar el efluente hasta el nivel definido es de 32 kJ_{UV} L⁻¹ (datos experimentales).

Con las hipótesis anteriores, el cálculo del campo solar necesario (de reactores fotocatalíticos tipo CPC) es el siguiente:

$$A_r = \frac{Q_{UV} V_t}{T_s UV_G} = \frac{32 \times 10^3 \times 10000 \times 10^3}{3000 \times 3600 \times 18} \left[\frac{J L^{-1} L}{s W m^{-2}} \right] = 1646 m^2$$

Diseño y Optimización de una Planta Piloto de Tratamiento Integrado de Residuos de Envases Fitosanitarios para su Reciclaje

El 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 Universidad de Alcalá.

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 (AOPs, tratamiento de oxidación avanzada) que elimine totalmente los componentes tóxicos como son los plaguicidas y sus productos de transformación presentes [Malato y col., 2002(a),(d); Vidal y col., 2002(a)].

Durante 2002 se ha demostrado que, tanto la fotocatalisis con TiO_2 y como con foto-Fenton, son tratamientos viables para depurar y detoxificar aguas contaminadas con plaguicidas. En este estudio, se ha demostrado la viabilidad de ambos procesos bajo irradiación solar y a escala de planta piloto [Malato y col., 2002(c)]. Es más, se ha tratado de demostrar que el correcto control de distintos AOPs no es un tema trivial [Parra y col., 2002; Rodríguez y col., 2002]. La adecuada evaluación de cualquier AOP, aplicado al tratamiento de aguas residuales, no debe incluir solamente un estudio de la desaparición del compuesto original. Siempre es necesario un estudio completo del grado de mineralización alcanzado de la sustancia en cuestión, y también de los PDs (productos de degradación) generados durante el proceso con un parámetro integral como el TOC.

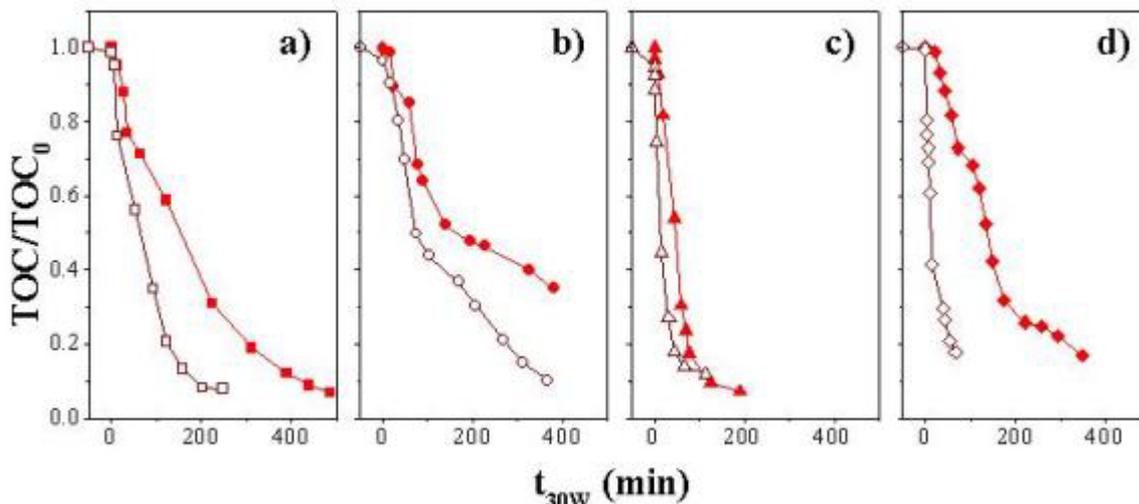


Figura 49. Mineralización de imidacloprid (a), metomilo (b), diurón (c) y formetanato (d). TiO₂ (200 mg/L): Símbolos sólidos. Foto-Fenton (0.05 mM Fe): Símbolos abiertos.

Además, es fundamental el conocimiento de la evolución de la toxicidad del agua residual, evaluada ésta a través de una serie de bioensayos diferentes [Fernández-Alba y col., 2002]. La aplicación de técnicas analíticas avanzadas, tales como la cromatografía, tanto líquida como gaseosa acoplada a espectrometría de masas, cromatografía gaseosa con detector de emisión atómica y los bioensayos de toxicidad aguda son decisivas para evaluar la efectividad global de los procesos de degradación y asegurar la inocuidad del vertido final.

El proceso de foto-Fenton se ha mostrado más eficiente que el de TiO₂, no solo para la degradación de los plaguicidas, sino también para la mineralización del TOC y la reducción de la toxicidad [Mézcuca y col., 2002(a),(b)]. Los productos de degradación identificados mediante GC-MS, GC-AED y LC-MS durante ambos tratamientos fotocatalíticos

son similares, aunque se presentan en distinta proporción, debido a que en ambos procesos los radicales •OH son la principal vía de ataque a las moléculas orgánicas. La proporción en la que se detectan los PDs es diferente debido principalmente a la velocidad de reacción [Malato y col., 2002(f)]. De esta manera, al tener velocidades de reacción diferentes, los PDs se van generando y desapareciendo en distinta proporción a lo largo de ambos tratamientos. Sin embargo, los PDs o las mezclas de éstos que se generan durante los procesos de degradación fotocatalíticos pueden ser más tóxicos que sus componentes originales. Esto demuestra claramente la necesidad de realizar baterías de bioensayos para poder obtener resultados concluyentes. El uso de técnicas de evaluación de biotoxicidad puede ayudar a reducir los costes de tratamiento. No es necesario mineralizar por completo los contaminantes, es suficiente con reducir la toxicidad de los

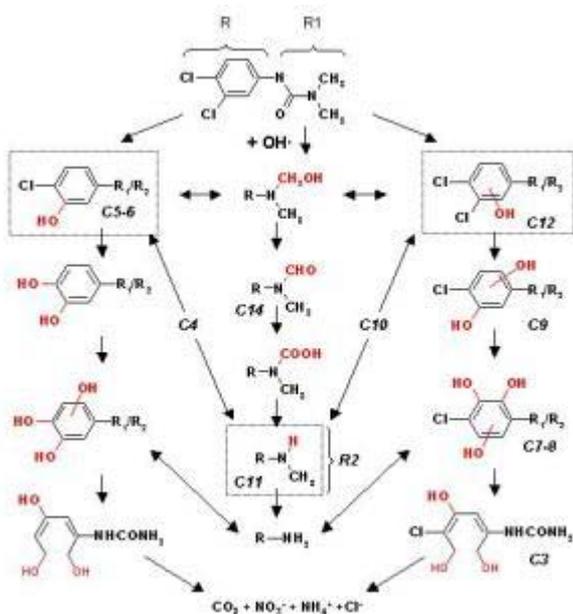


Figura 50. Ruta de degradación propuesta para la degradación de diurón por fotocatalisis solar mediante TiO₂ y foto-Fenton.

mismos hasta límites compatibles con el medioambiente o con otros tratamientos más sencillos (por ejemplo, biológico) [Malato y col., 2002(e)]

El objetivo final del proyecto es diseñar, construir y optimizar una planta piloto durante 2003 que incluya los controles de calidad (de producto y medioambiental) necesarios para la transformación de los envases plásticos de residuos fitosanitarios en plástico libre de pesticidas y utilizable para otras aplicaciones.

Access to the PSA as a Large European Scientific Facility

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 ha extendido hasta finales de 2002. 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 fotoquímica solar es una de las áreas más exitosa, con elevada producción científica [Augugliaro y col., 2002(a),(b),(c),(d); Catastini y col., 2002; Kositz y col., 2002; Mailhot y col., 2002; Nguyen Dinh y col., 2002; Robert y col., 2002(a),(b); Salud y col., 2002; Sarria y col., 2002] y que ha permitido al grupo de Química Solar el convertirse en un referente en Europa. De hecho, durante el año 2002 se ha recibido a 12 grupos distribuidos en 7 periodos de ensayos (4 en Detox y 3 en Solfin), actividad muy similar a la que se produjo durante el año 2001. Es esperable que esta actividad continúe con igual o mayor intensidad en los próximos años. Los ensayos realizados durante el año 2002 en detoxificación fotocatalítica, encaminados fundamentalmente a la descontaminación de aguas, fueron:

10) Viostamp S.A.-Thessaloniki Dyeing Mills S.A. / Lab. Phys. Chem.-Univ. of Thessaloniki (Greece). *Tratamiento fotocatalítico de efluentes conteniendo colorantes*. Se ha estudiado la reducción del contenido orgánico de efluentes acuosos de industrias de tintes textiles utilizando fotocatalisis en fase homogénea (foto-Fenton) y heterogénea (TiO₂). Se han ensayado dos TiO₂ diferentes así como el efecto de oxidantes como H₂O₂ y Na₂S₂O₈, El sistema TiO₂/H₂O₂ se ha demostrado el más eficiente en fotocatalisis heterogénea. Se ha conseguido eliminar el 70% de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), así como la totalidad del color en un agua procedente de la industria del algodón. En todo caso, la fotocatalisis homogénea ha sido la más efectiva ya que se ha conseguido eliminar más del 90% del contenido orgánico.

11) Lab. Photocatalyse, Catalyse and Environment-E. Centrale de Lyon / AHLSTROM PAPER GROUP (France). *Estudio de eficiencia de fotocatalizador soportado en fibras: aplicación a la eliminación de colorantes*. Un fotocatalizador de titanio se ha preparado soportando diferentes cantidades de Millennium anatasa PC50 y PC500 en papel (preparado partir de fibras sintéticas) de la empresa Ahlstrom. Se

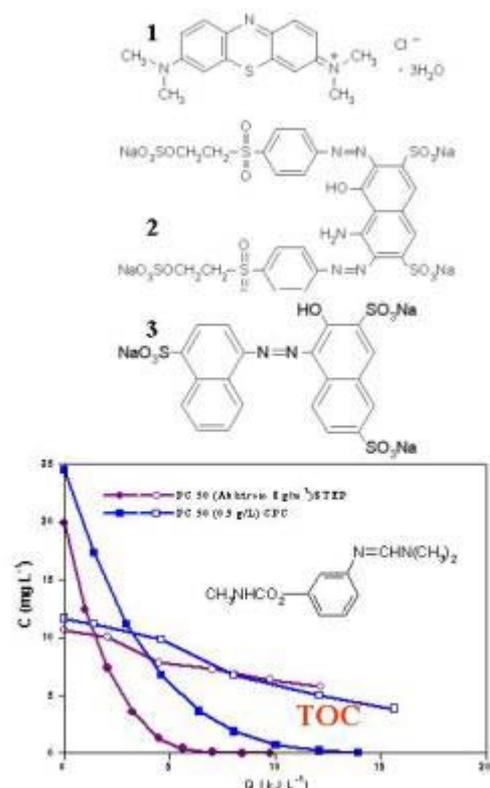


Figura 51. Estructura de los colorantes (1 azul de metileno, 2 remazol, 3 amaranto) ensayados en STEP y comparación entre STEP y CPC en la degradación de formeteanato.

han tratado diferentes contaminantes disueltos en agua como formetanato (plaguicida), azul de metileno (colorante modelo) remazol y amaranto (colorantes azóico) mediante este nuevo catalizador instalado en un reactor tipo escalera (STEP, ver Informe Anual 2001). Este sistema se ha comparado con la de utilizar los catalizadores Millenium suspendidos en agua a 0.5 g/L y en fotorreactores CPC [Herrmann y col., 2002]. La eficiencia de ambos sistemas fue muy similar para el tratamiento de formetanato, pero no así para los colorantes, con los que el catalizador en suspensión dio mejores resultados.

- 12) Environmental Biotechnology Department, Silesian University of Technology, , Poland / Laboratoire de Chimie et Applications (EA 3471), Université de Metz, France. *Degradación fotocatalítica de compuestos orgánicos procedentes de lixiviados de vertedero.* Los ácidos húmicos se generan en grandes cantidades en vertederos antiguos y clausurados. Se ha ensayado su degradación con TiO₂ (P-25) y se ha obtenido más del 85% de degradación de la DQO y el color. Además, se ha demostrado que se aumenta su biodegradabilidad durante el tratamiento fotocatalítico.
- 13) Vienna Univ. of Agricultural Sciences, IWGA-SIG / Vienna Univ. of Agricultural Sciences, IBF, Austria. *Tratamiento mediante foto-Fenton de plaguicidas comerciales y 4-nonilfenol.* Se han ensayado mezclas de nueve plaguicidas comerciales (10-60 mg/L de TOC) mediante foto-Fenton en colectores cilindro-parabólicos (Helioman) consiguiéndose un 85% de degradación del TOC. Las medidas de DQO y DBO₅ (Demanda Biológica de Oxígeno a 5 días) han demostrado que la biodegradabilidad ha aumentado desde el 15 al 37% de la DQO. Además, se ha demostrado que puede degradarse 4-nonilfenol (disruptor endocrino) en dos órdenes de magnitud mediante foto-fenton y TiO₂, siendo el primer tratamiento más efectivo. .

Los ensayos realizados durante el año 2002 en la instalación SOLFIN, encaminados básicamente a la síntesis de compuestos usando como fuente de radiación la luz solar fueron los siguientes:

- 14) Faculty of Chemistry, A. Mickiewicz University, Poznan, Polonia. *Fotoproducción de hidrógeno a partir de una mezcla agua-metanol sobre titanio modificado.* Se ensayaron tres series de catalizadores de titanio-itrio platinizados para la generación de hidrógeno procedente de agua y en presencia de metanol. Los ensayos se realizaron tanto con luz artificial como natural. En los experimentos llevados a cabo bajo radiación solar se observó un aumento del efecto de sedimentación del catalizador produciendo una disminución en la generación de hidrógeno, independientemente del tipo de reactor y titanio utilizado. Los mejores resultados se obtuvieron para los catalizadores que contenían un 0.3 % de platino mientras que el aumento de la concentración de Y₂O₃ conducía a una disminución de la actividad total.
- 15) Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Bergamo/ Dipartimento di Chimica, Chimica-Fisica e dei Materiali "Giulio Natta", Milán, Italia. *Síntesis fotoquímica de azahelicenos y precursores útiles para su síntesis.* Se llevaron a cabo diversas reacciones fotoquímicas con el objetivo de sintetizar compuestos mono y diazahelicenos y de conseguir la ciclación de un derivado estirilo, precursor de la síntesis de dichos azahelicenos. La formación de los azahelicenos fue bastante exitosa, sin embargo, sólo se pudo obtener la isomerización trans-cis. Se comprobó cómo el uso de fotorreactores solares permite la posibilidad de obtener a una escala superior a la del laboratorio y usando una fuente de radiación natural derivados estirilos en gran cantidad y, por consiguiente, poder obtener una cantidad sustancial de compuestos azahelicenos.

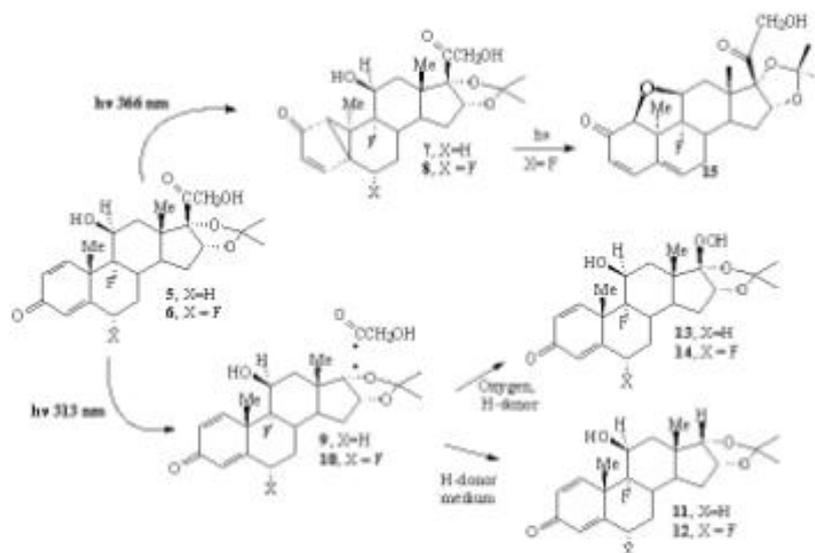


Figura 52. Transformación fotoquímica de un glucocorticoesteroide dependiendo de la λ de irradiación.

16) Department of Organic Chemistry, University of Pavia, Italia. *Fotorreactividad de fármacos inducida mediante luz solar.* Se ha investigado la reactividad bajo luz natural de fármacos fotosensibles a la radiación UVA-UVB pertenecientes al grupo de las fluoroquinolonas, glucocorticoesteroides, cremas solares y nitrofenildihidropiridinas. Los ensayos realizados con las cremas solares se realizaron usando tanto solución acuosa como solución de micelas de SDS. Los resultados obtenidos concluyeron que la exposición a la luz solar de estos compuestos desde unos minutos hasta varias horas era suficiente para producir un alto grado de degradación en los fármacos investigados.

Funcionalización Selectiva Catalizada de Acetilenos Terminales Mediante Compuestos de Coordinación en Medio Acuoso.

El proyecto que está financiado por el Ministerio Español de Ciencia y Tecnología (P2000-1301) comenzó en diciembre de 2000 y los grupos que participan en el mismo son la Plataforma solar de Almería, el Departamento de Química Inorgánica de la Universidad de Almería (coordinador), DLR-PSA y el Departamento de Química Orgánica de la Universidad de La Laguna.

La catálisis homogénea bifásica (acuosa/orgánica) sería la solución para muchos de los problemas tradicionales de la catálisis en medio homogéneo, sin pérdida de ninguna de sus ventajas. Los procesos son igual de selectivos, pero el estar el catalizador disuelto en agua, y los productos de la reacción ser solubles en la fase orgánica o insolubles en agua, hace que éstos sean fácilmente separables, y que el catalizador sea reutilizado repetidamente. Por otra parte, los carbenos insaturados son intermediarios importantes que pueden actuar como catalizadores de formación de enlaces C-C.

Uno de los objetivos de este proyecto es el estudio de las propiedades químicas y catalíticas de los compuestos vinil y alenilidenos solubles en agua cuyas propiedades aceptoras y dadoras de los átomos dadores y sus propiedades tensoactivas los hacen catalizadores óptimos en sistemas de dos fases. Otro objetivo propuesto ha sido el uso de la radiación solar como fuente de energía de reacciones sintéticas. Para ello se han desarrollado nuevos sistemas [Romerosa y col., 2002] que requieren la optimización de todos los parámetros de modo que el sistema conjunto catálisis bifásica-energía solar, sea un sistema selectivo, económico y ecológico.

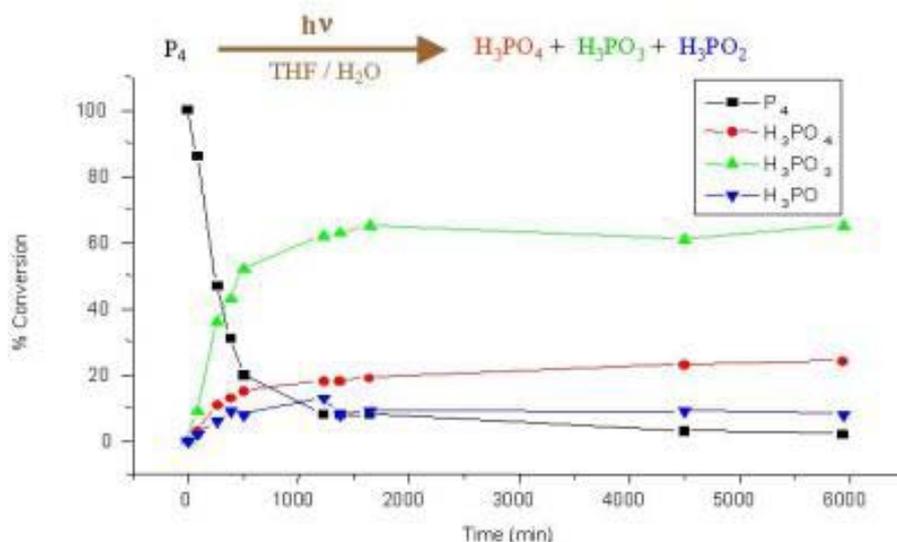


Figura 53. Formación de los derivados de ácido fosfórico, H_3PO_3 , H_3PO_2 y H_3PO_4 a partir de la radiación solar de una disolución de P_4 .

Como ejemplo, uno de los procesos llevados a cabo ha sido la transesterificación catalizada mediante complejos de coordinación de Ru(II) de vinil éteres sustituidos para formar compuestos orgánicos, acetales y aldehídos [Mañas y col., 2002(a)].

También se ha investigado el desarrollo de un sistema que permite la síntesis de compuestos inorgánicos, tales como los derivados de ácido fosfórico, usando como fuente de energía la luz solar [Mañas y col., 2002(b)].

Desinfección de Agua Mediante Fotocatálisis Solar

La desinfección es un proceso crucial para la industria del medioambiente. Se debe recordar que el agua es, para el hombre, el principal vector de transmisión de enfermedades y, como consecuencia, la calidad del agua es un bien de absoluta primera necesidad. Durante los primeros 75 años del siglo XX, prácticamente los únicos tratamientos de purificación de aguas que se utilizaron fueron la floculación química, la filtración en medio granular y la cloración. El cloro es el producto químico más comúnmente utilizado para la desinfección de agua debido a su habilidad para inactivar bacterias y virus. Sin embargo, en los últimos 20 años hemos asistido a un cambio radical en la industria del agua, que ha comenzado a considerar otros tratamientos alternativos ("avanzados") a los tradicionalmente utilizados. Una de las razones para ello es el hecho de que, últimamente, se ha puesto de manifiesto que el cloro, en presencia de impurezas orgánicas en el agua, puede generar sub-productos no deseados de desinfección, tales como trihalometanos y otros compuestos cancerígenos.

Las tecnologías de filtración con membrana (micro, ultra y nanofiltración y ósmosis inversa) se emplean cada vez más, aún a expensas de un coste significativo. La irradiación con luz ultravioleta (UV, 254 nm), aunque es una técnica compacta y de coste competitivo, se está introduciendo lentamente, ya que carece de capacidad oxidativa (control simultáneo de color, sabor y olores que ejerce el cloro o el ozono). Además, aún existe información insuficiente sobre la dosis necesaria para la destrucción de muchos microorganismos y no se puede realizar con luz natural. El ozono (con o sin peróxido de hidrógeno o luz UV adicionales) y otros tratamientos avanzados de oxidación que se basan en la generación de radicales $\cdot OH$, pueden presentar problemas de toxicidad en la operación, coste elevado, optimización de diseño y formación de subproductos peligrosos para la salud. Un ejemplo de ello es la formación de ión bromato en el caso de aguas ricas en bromuro.

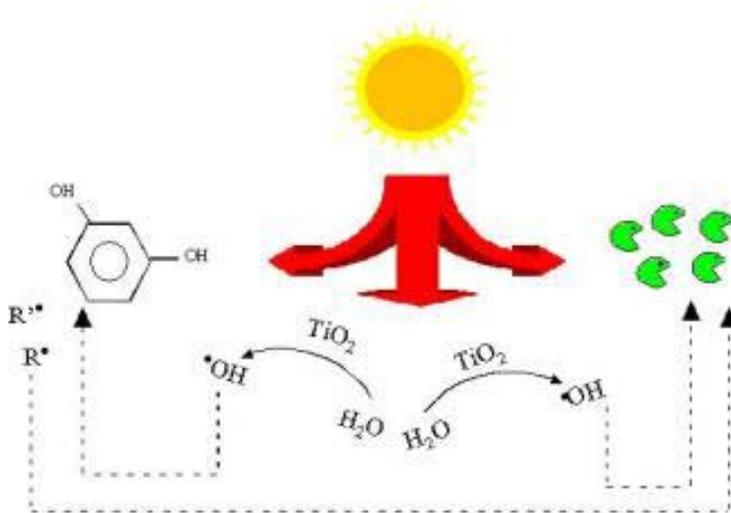


Figura 54. Desinfección y descontaminación simultánea mediante fotocatalisis.

En este contexto, la fotocatalisis como método de desinfección es un proceso todavía básicamente inexplorado. Sin embargo, el efecto bactericida del TiO_2 ha sido demostrado en varios microorganismos, incluyendo *Escherichia Coli*, *Lactobacillus Streptococos*, y otros. Este efecto está asociado con la división de la pared de la célula por oxidación superficial inducida fotocatalíticamente, dando como resultado la desintegración de la célula. La desinfección de virus, tales como Phage MS2 y poliovirus 1, se pueden encontrar en la literatura. Uno de los graves problemas de todos estos métodos es la falta de capacidad residual de desinfección cuando el tratamiento concluye, pudiéndose reproducir los microorganismos a partir de ese momento. En cambio, la presencia simultánea de microorganismos y de compuestos orgánicos en el medio puede hacer que la fotocatalisis sea más efectiva debido a la formación de radicales de estos compuestos que también tienen poder bactericida. La figura presenta un esquema simplificado de los procesos que pueden tener lugar si se trata fotocatalíticamente un agua conteniendo contaminación microbiana y orgánica. Una aplicación realista debería incluir un tratamiento fotocatalítico preliminar para desinfectar parcialmente el agua y reducir el nivel de contaminantes orgánicos, seguido de cloración limitada para mantener la desinfección en las tuberías de distribución y evitar la formación de subproductos no deseados.

A medida que las fuentes de agua sean más escasas y mayor la demanda tanto industrial como de salud pública, la necesidad de tratamientos de desinfección de aguas innovadores y competitivos en coste serán mayores, existiendo un claro potencial para los procesos fotocatalíticos basados en la luz solar. Por esta razón la Plataforma Solar solicitó un proyecto "Cost effective solar photocatalytic technology to water decontamination and disinfection in rural areas of developing countries" (SOLWATER) a la UE (EU-DG Research, Confirming the International Role of Community Research for Development) que ha sido aprobado y cuyos trabajos han comenzado en Noviembre de 2002. En este proyecto el Grupo de Química Solar de la Psa es coordinador y cuenta con participantes europeos (ECOSYSTEM-España, AOSOL-Portugal, UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID-España, NATIONAL TECHNICAL UNIV. OF ATHENS-Grecia, ECOLE POLYTECHNIQUE FEDERALE DE LAUSANNE-Suiza) y suramericanos (INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA, COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA-Argentina, UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA-Perú, TINEP-México).

Recogida y Reciclado Medioambiental de Envases Plásticos de Productos Fitosanitarios Mediante Fotocatálisis Solar

Este proyecto está enfocado a problemas originados por la agricultura intensiva en invernadero, un sector que está creciendo exponencialmente en los últimos años en la Cuenca Mediterránea. Actualmente existen más de 200,000 Ha de invernaderos, la mayoría de ellos en países de la UE. Este tipo de agricultura necesita Hasta 200 veces más de plaguicidas que la agricultura convencional. Los problemas medioambientales son uno de los mayores inconvenientes de este sector económico para su desarrollo. Uno de estos problemas es el vertido incontrolado de envases (de plástico) usados de fitosanitarios,

que suelen contener pequeñas cantidades de los mismos. Esto origina un serio peligro de contaminación de suelos y aguas subterráneas. La solución es la recogida selectiva de estos envases para su reciclado. Pero, antes de su reciclado el plástico debe ser lavado y el agua utilizada para ello quedará contaminada con los plaguicidas. Esta agua debe ser tratada antes de su vertido. Por tanto, el desarrollo de un proceso limpio y sencillo para tratar esta agua en el mismo lugar dónde se produce es necesario. Actualmente no existe esta tecnología. Por ello, la empresa ALBAIDA, con la colaboración del CIEMAT, presentó un proyecto "Environmentally Collection and Recycling of Pesticide Plastic Bottles using Advance Oxidation Process driven by Solar Energy" al programa Europeo LIFE-ENVIRONMENT que ha sido aprobado y comenzó su ejecución en Octubre de 2001. En estos momentos, el CIEMAT está asistiendo a la empresa ALBAIDA en el diseño final de la planta de Detoxificación Solar a instalar dentro del complejo que de la planta completa de procesado y reciclado de envases plásticos de productos fitosanitarios [Blanco y col., 2002(b),(c),(d)].

Este proyecto (de 30 meses) está dividido en 5 fases con objetivos específicos en cada una de ellas. Cada una ha sido diseñada para abarcar todos los aspectos relacionados con un reciclado correcto de envases de plástico conteniendo productos tóxicos. La primera parte del Proyecto (Paquetes de trabajo 1 y 2) ha estado enfocada a desarrollar una metodología para la recogida de las botellas. Un contenedor apropiado ha sido seleccionado y se ha optimizado la distribución espacial de los mismos, colocándolos fundamentalmente en las cooperativas de agricultores del campo almeriense. Diferentes aspectos relacionados con la recogida (números de envases por contenedor y día, cantidad de residuo por envase, tipo de plástico, etc.) han sido determinados mediante la instalación de algunos contenedores de prueba en emplazamientos estratégicos. Además, se ha diseñado la planta de reciclado y su emplazamiento final en función de la logística de recogida. La segunda fase (Paquete de trabajo 3) incluirá la construcción de una pequeña planta piloto para ensayar a escala todos los parámetros relacionados con el reciclado. El plástico recogido en algunos de los contenedores instalados será transportado y tratado para evaluar todos los posibles problemas a pequeña escala y para optimizar, en la medida de lo posible, todo el proceso. La tercera fase (Paquete de trabajo 4) consistirá en el diseño, construcción y operación de la instalación del sistema completo a escala industrial atendiendo a todos los resultados y conclusiones obtenidas en las fases previas. La recogida selectiva, transporte, reciclado y descontaminación del agua de lavado será definitivamente instalado. Además, se estudiará la versatilidad que tiene el

proceso para ser aplicado en otros lugares y/o aplicaciones.

Durante el año 2002 se han obtenido todos los permisos y parabienes de las autoridades medioambientales y se ha colocado la primera piedra de la planta en el municipio de La Mojonera (ver Figura 55). Después de esto, se construirá la planta piloto. Esto será un paso previo, pero necesario, antes de abordar la construcción de la planta final. El proyecto concluirá con la edición y distribución de trípticos informativos para los agricultores con el objetivo de que se evite el daño al medio ambiente provocado por el vertido incontrolado.



Figura 55. Inicio de actividades para la instalación de la planta de reciclado de envases de fitosanitarios en La Mojonera (Almería)

Destrucción de contaminantes orgánicos en fase gas

Eliminación de H₂S del aire

El proyecto "Destrucción fotocatalítica de especies precursoras y generadoras de malos olores en instalaciones de saneamiento de aguas residuales" (Proyecto financiado por el MCYT- PROFIT: FIT-140100-2001-158 y 2002-84) finalizó en diciembre de 2002. El Departamento de Energías Renovables del CIEMAT ha colaborado en este proyecto junto con el ICP-CSIC y la empresa Aguas de Murcia S.A. En el, se ha investigado por primera vez en España, la aplicación de la radiación solar actuando sobre un catalizador, con el objetivo de destruir gases nocivos para la salud, provenientes de depuradoras, fundamentalmente ácido sulfhídrico. El estudio de la actividad fotocatalítica se ha dividido en dos etapas:

- Ensayos fotocatalíticos en condiciones controladas de laboratorio.
- Construcción del primer prototipo de fotorreactor y propuesta de ensayos en condiciones reales.

Como conclusión se observa una buena efectividad en la destrucción de H₂S en los primeros momentos que disminuye paulatinamente con el tiempo, lo que obliga a pensar en procesos de lavado de los catalizadores utilizados.

Tratamiento fotocatalítico de dioxinas y furanos

Durante el año 2002 ha dado comienzo el proyecto "Eliminación de contaminantes orgánicos persistentes en efluentes gaseosos mediante foto-oxidación avanzada" (FOTOCOP), financiado por el Ministerio Español de Ciencia y Tecnología con una contribución externa al CIEMAT de 55.000 Euros.

El objetivo principal de este proyecto es el desarrollo, construcción y ensayo en condiciones de planta piloto de un primer prototipo de reactor fotocatalítico, que por si solo o asociado a un sistema de adsorción convencional, pueda permitir la destrucción de los compuestos orgánicos persistentes (COPs) existentes en los gases de salida de sistemas de incineración de residuos como son dioxinas y furanos. Durante el desarrollo del proyecto se esperan conseguir los siguientes objetivos parciales:

- 1) Preparar y caracterizar distintos catalizadores monolitos –con el dióxido de titanio incorporado másicamente o impregnado- para llevar a cabo la oxidación catalítica y/o fotocatalítica de dioxinas y furanos con alta eficacia y buscando la nula formación de productos secundarios.
- 2) Preparar y caracterizar distintos soportes impregnados con dióxido de titanio por diferentes técnicas – deposición superficial (*coating*), sol-gel - como alternativa a los catalizadores monolíticos (Figura 56).
- 3) Determinar a escala de laboratorio la actividad fotocatalítica de los diferentes soportes impregnados.
- 4) Modelar el flujo de aire a través de los canales que conforman el monolito. Medir experimentalmente las velocidades intrínsecas de las reacciones y proponer modelos cinéticos basados en correspon-

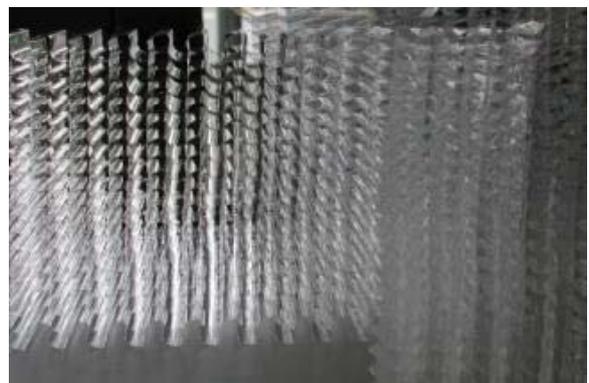


Figura 56. Además de los catalizadores monolíticos cerámicos tradicionalmente ensayados por nuestro grupo de investigación en fase gas, nuevos soportes como el aquí representado están siendo analizados para su utilización fotocatalítica

dientes mecanismos de degradación.

- 5) Modelar el campo radiante en el interior de los monolitos calculando las densidades de flujo de radiación sobre la superficie de los canales, optimizando los parámetros de diseño, principalmente conducentes a un mejor aprovechamiento de la radiación solar.
- 6) Poner a punto la metodología para la toma de muestra y análisis de dioxinas y furanos antes y después del tratamiento fotocatalítico.
- 7) Desarrollar un prototipo de fotorreactor de bajo coste basado en un colector plano optimizado que permita la utilización simultanea de radiación solar y lámparas UV estudiando la posibilidad de trabajo en continuo: día-noche.
- 8) Determinar en condiciones de radiación solar real la eficiencia de dicho fotorreactor colector en la destrucción de efluentes gaseosos provenientes de una planta piloto, parámetros clave que la controlan e importancia de reactivos de desplazamiento y activadores de la reacción como pueden ser el O₃ y el H₂O₂.

Desodorización y desinfección de aire interior

Bajo el título "Desarrollo y evaluación de un sistema de tratamiento fotocatalítico para la desodorización y desinfección de aire interior de edificios" en este año ha comenzado también este nuevo proyecto financiado por el Gobierno Regional de la Comunidad de Madrid (CAM) con un presupuesto externo al CIEMAT de 39.000 Euros. Los objetivos específicos son los siguientes:

- 1) Estudio de las concentraciones de COVs existentes en dos ambientes considerados como modelo: Hospitales y Edificio de oficinas (Figura 57).

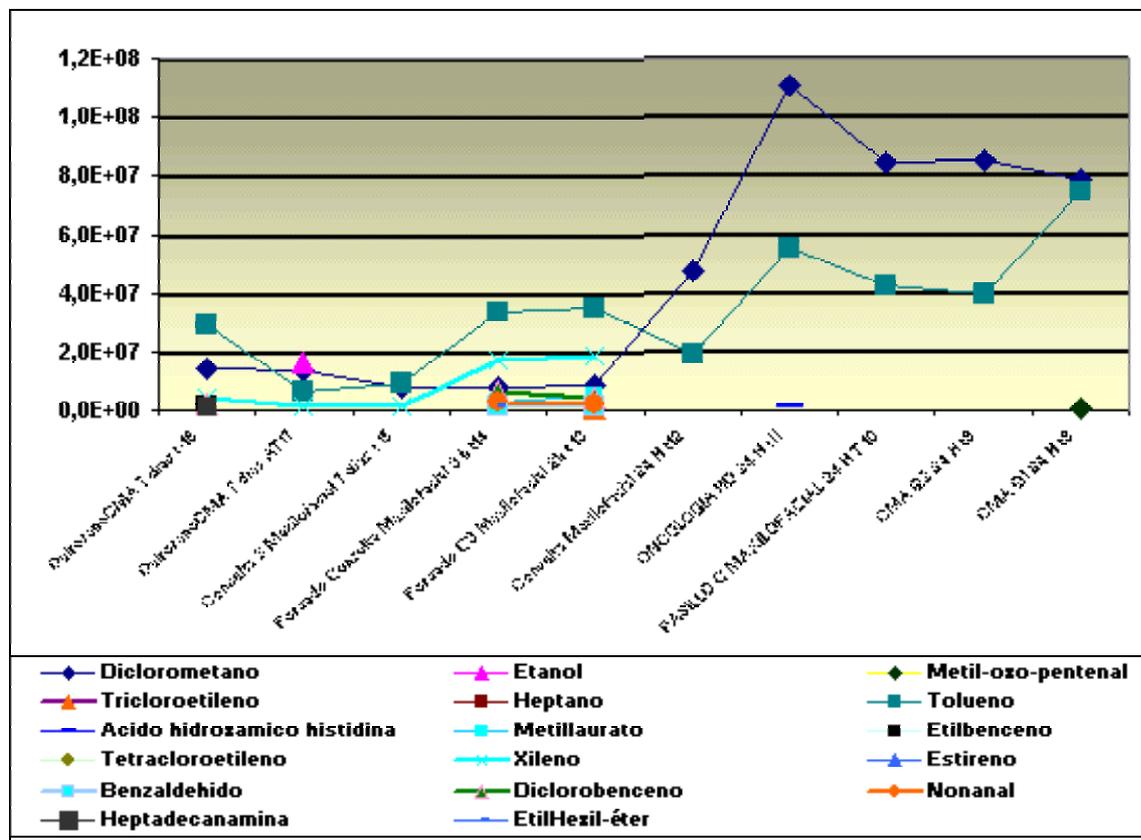


Figura 57. COVs determinados por GC-MS en diferentes ambientes hospitalarios.

- 2) Estudio de la carga microbiana -saprófitos o patógenos, etc- existente en los mismos ambientes.
- 3) Desarrollar un reactor de diseño modular capaz de tratar una corriente gaseosa que contenga COVs identificados como problema. Igualmente deberá probar su eficiencia en el tratamiento de colonias cuyos resultados puedan ser extrapolados a colonias patógenas.
- 4) Desarrollar un procedimiento de impregnación de TiO_2 sobre guías de ondas (fibra óptica o similar) que permita evaluar la eficiencia de estos sistemas por sí solos y en combinación con catalizadores monolíticos al incorporar dichas fibras a lo largo de sus distintos canales paralelos.
- 5) Determinar la influencia de los parámetros clave en la química de la reacción. Tiempo de residencia, concentración del flujo fotónico e importancia de reactivos de desplazamiento como el H_2O y el CO_2 .

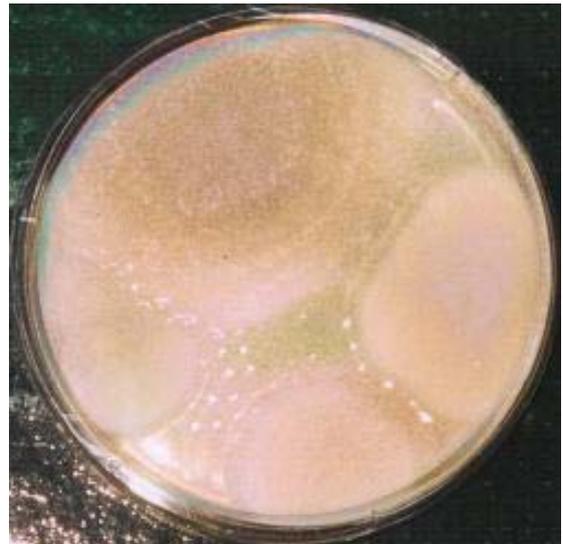


Figura 58. Cultivos de Aspergillus sp. y Penicillium en crecimiento sobre placa de cultivo.

Desalación solar de agua de mar

En la actualidad, dentro del Área de Química Solar de la PSA, se están desarrollando dos proyectos de investigación en el campo de la desalación de agua de mar con energía solar, uno de ámbito europeo (Proyecto AQUASOL: Enhanced Zero Discharge Seawater Desalination using Hybrid Solar Technology) y otro de ámbito nacional (Proyecto SOLARDESAL: Tecnología Híbrida de Desalinización Avanzada Solar-Gas basada en Colectores Solares Estáticos).

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.

Las entidades integrantes del Proyecto AQUASOL son: CIEMAT (coordinador), INABENSA (España), Ao Sol Energias Renováveis (Portugal), National Technical University of Athens (Grecia), INETI (Portugal), Cajamar (España), Hellenic Saltworks (Grecia), Comunidad de Regantes Las Cuatro Vegas de Almería (España) 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 ha sido en marzo de 2002.

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

En particular, el Proyecto AQUASOL está enfocado en el desarrollo tecnológico de tres aspectos fundamentales:

- 1) Incorporación de una fuente de suministro energético híbrido solar/gas basada en colectores solares parabólicos compuestos (CPC) de alta eficiencia y bajo coste.

- 2) Desarrollo de una bomba de calor de absorción de doble efecto (LiBr/H₂O) optimizada para su acoplamiento al proceso MED que permita reducir a la mitad el consumo energético necesario.
- 3) Reducción a cero de cualquier tipo de vertido del proceso de destilación mediante la recuperación de la sal procedente de la salmuera.

Durante el año 2002 las principales actividades desarrolladas han estado relacionadas con el establecimiento de las condiciones de contorno (especificaciones funcionales y técnicas) de los diferentes subsistemas que forman parte constituyente del sistema de desalación a implementar dentro del Proyecto AQUASOL (Ver Figura 59).

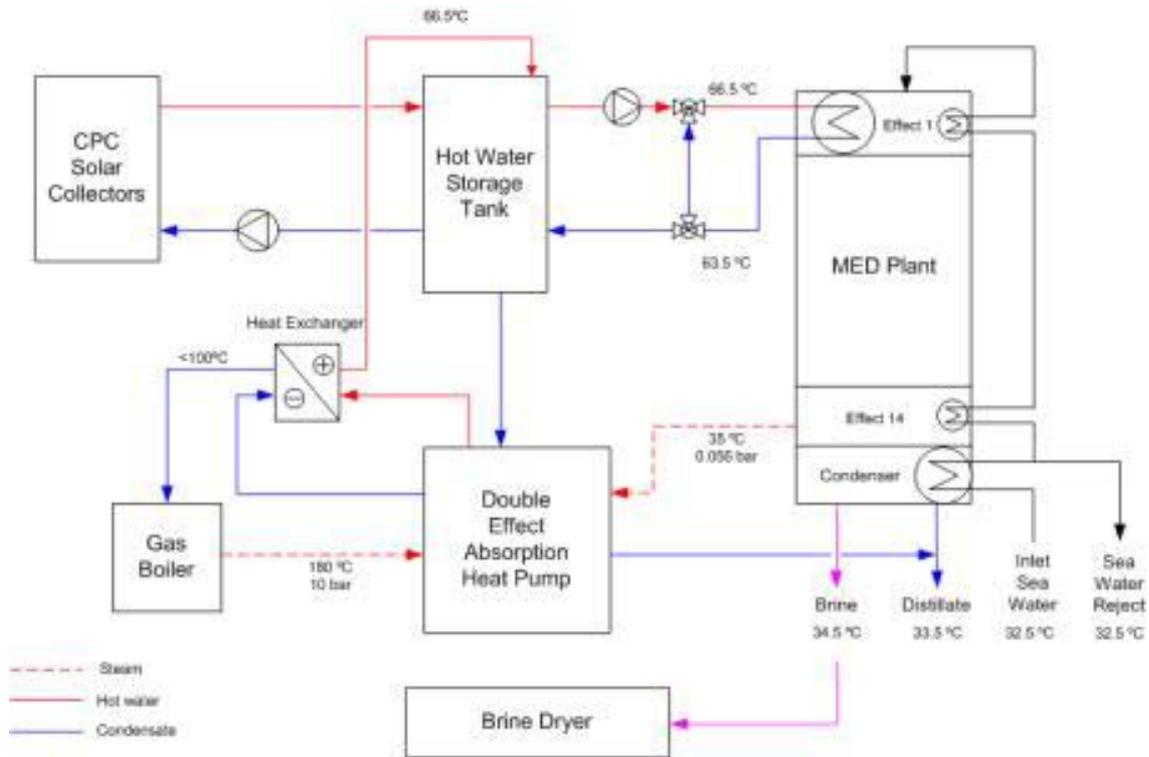


Figura 59. Configuración final del sistema de desalación a implementar dentro del Proyecto AQUASOL

El primer efecto de la planta MED será alimentado directamente con agua caliente a 66,5°C procedente del tanque de almacenamiento, el cual es a su vez alimentado o bien por el campo de colectores solares, o bien por la bomba de calor de absorción de doble efecto. La operación a esos niveles de temperatura presenta dos claras ventajas: en primer lugar se reduce considerablemente el peligro de formación de incrustaciones en los intercambiadores de calor de la planta de destilación, reduciendo el consumo de aditivos químicos; en segundo lugar, la eficiencia energética de los colectores solares estáticos aumenta cuanto menor es la diferencia entre la temperatura del fluido y la temperatura ambiente.

Debido a la limitación en la temperatura máxima que puede obtenerse con colectores solares CPC estándar, la única posibilidad de funcionamiento de la bomba de calor de doble efecto es utilizando vapor a alta presión (180°C, 10 bar) procedente de la caldera de gas. Por lo tanto, el factor de rendimiento de la planta (kg destilado producido /2300 kJ energía aportada al proceso) oscilará entre un valor de 10 (modo sólo-solar) y un valor de 20 (modo sólo-gas) [Alarcón y col., 2002]. Está prevista dentro del proyecto la investigación de modos de funcionamiento híbrido en los que la bomba de calor pueda funcionar a carga parcial (20%-100%) en combinación con un aporte complementario del campo solar.

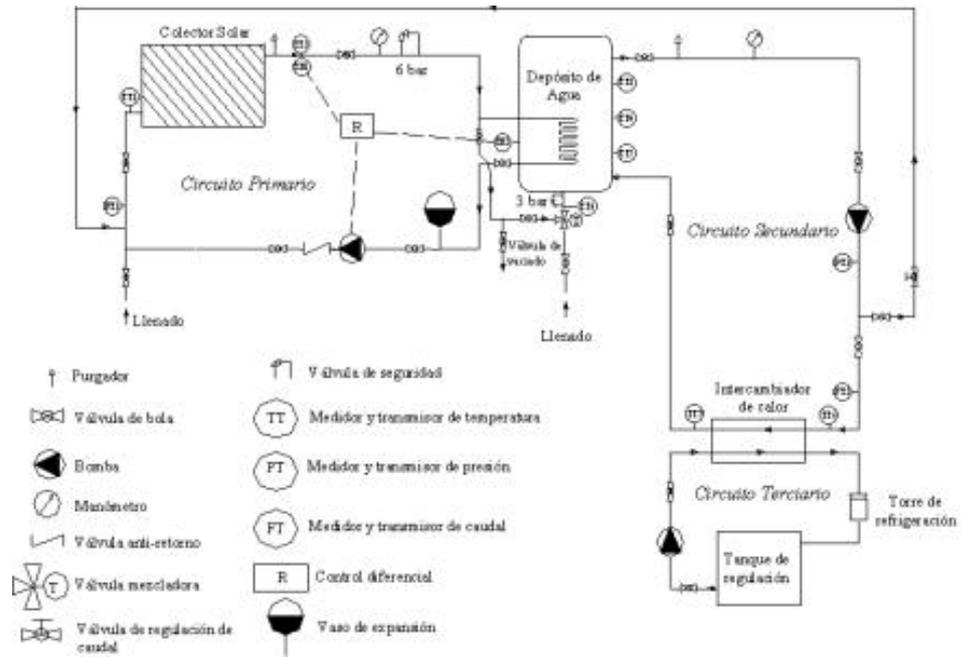


Figura 60. Esquema general de la plataforma de ensayo de colectores solares estáticos

En cuanto al tratamiento posterior del efluente salino producido tras el proceso de destilación, las investigaciones realizadas han llevado a la conclusión de que es imposible la obtención directa de sal mediante el empleo de un dispositivo solar completamente pasivo. Es por ello por lo que se ha producido una reformulación en las especificaciones funcionales del secador solar avanzado a diseñar, teniendo como nuevo objetivo el incrementar la concentración de la salmuera entrante hasta alcanzar el punto de saturación del carbonato cálcico (16°Be, escala Baumé). Dicho concentrado estaría en disposición de ser enviado a las balsas de evaporación de una salina convencional para continuar el proceso estándar de obtención de sal. Las simulaciones efectuadas han demostrado un incremento hasta en un factor de 9 en el rendimiento del secador solar propuesto en comparación con el proceso llevado a cabo en una salina convencional.

También durante el año 2002 se han iniciado actividades en desalación dentro del programa europeo "Mejora del Potencial Humano de Investigación" (IHP). Con objeto de ofrecer servicios adicionales a la comunidad investigadora se ha procedido a la construcción y puesta en funcionamiento de una plataforma de ensayo de colectores solares estáticos para la determinación de sus curvas de eficiencia en aplicaciones de desalación (Ver Figura 60). Dicha instalación cuenta con tres circuitos hidráulicos independientes: En el circuito primario el fluido (agua o mezcla de agua con anti-congelante) es calentado a su paso a tra-



Figura 61. Planta de destilación multiefecto de la PSA con un total de 14 efectos

vés del colector solar entregando la energía adquirida al agua depositada en un tanque de almacenamiento. En el circuito secundario, el agua procedente del tanque es bombeada hacia un intercambiador de calor con objeto de transferir su energía al circuito terciario. Este intercambiador de calor simularía la introducción de agua caliente en el primer efecto de una planta MED. Finalmente, el agua que circula por el circuito terciario es impulsada hacia una torre de refrigeración, donde la energía adquirida procedente del circuito secundario es disipada hacia el ambiente.



Figura 62. Vista de la plataforma de ensayo de colectores solares estáticos

Procesos de almacenamiento de la energía solar

En los últimos años se han realizado diversos esfuerzos a nivel internacional dirigidos al almacenamiento de la energía solar mediante procesos tanto termoquímicos como fotoquímicos. La conversión termoquímica de la energía solar en energía química es un proceso termodinámicamente eficiente y permite el transporte de la energía solar. Dentro de estos procesos, la descomposición térmica directa del ZnO supone una posibilidad atractiva para sistemas concentradores de energía solar.



La energía solar almacenada en la fase condensada puede ser utilizada para producir electricidad en una celda de combustible Zn/aire o hidrógeno mediante hidrólisis en presencia de vapor, en ambos casos regenerando y reutilizando en ZnO.

Por lo que respecta a procesos fotoquímicos, la aplicación de la tecnología fotocatalítica para promover selectivamente la reducción de CO₂ representa una vía muy interesante para el desarrollo de sistemas sostenibles de producción de compuestos químicos orgánicos, combustibles y materiales [Vidal y col., 2002(b)]. Estos procesos evitarían el uso de combustibles fósiles convencionales y, como consecuencia, la adición de más CO₂ a la atmósfera.

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.

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 como '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-RTD) 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 los sucesivos programas que, genéricamente, podemos llamar de 'acceso a grandes instalaciones' y que han sido promovidos por la DG-XII 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 2003, 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 29 de enero de 2002, seleccionando a un total de 14 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, el 25 y el 26 de febrero de 2002, 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].



Figura 63. Reunión de Usuarios IHP en la PSA

En el mes de junio, y según lo estipulado en el contrato suscrito con la DG RDT, tuvo lugar una auditoria técnica de seguimiento por parte de Bruselas, en la cual hemos obtenido una evaluación muy positiva.

Por otro lado, la PSA ha conseguido un nuevo contrato con la Comisión Europea dentro de este programa, sus principales parámetros son los siguientes: duración 24 meses, comienzo en marzo de 2002, financiación: 517500 EURO (aprox. 86 MPTA), semanas de acceso ofertadas: 48.

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 Procèdes (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.

Normalmente se celebran reuniones de carácter semestral, aunque este año por razones de diversa índole se ha celebrado solo una. Esta tuvo lugar precisamente en la PSA, en el mes de marzo.

Los informes correspondientes al primer y segundo panel de estudio se emitieron durante el año 2001, mientras que el informe correspondiente al tercer panel se ha emitido este año.



Figura 64.
www.euro-energy.net

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.



Figura 65. Asistentes a un curso en la PSA

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: Escuela Politécnica Federal de Lausana, Universidad de Burdeos.....

De cara al año 2003 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 se resume con la participación de la PSA en los actos celebrados con motivo de la 'Semana de la Ciencia y la Tecnología 2002'.

En primer lugar hay que destacar la consecución de una ayuda de 37.000 € procedentes de la FECYT (Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología) para financiar los costes asociados con esta actividad, que se denominó 'Almería en Renovable' y que tuvo lugar en el Campus de la Universidad de Almería (UAL) durante la semana del 4 al 10 de noviembre (Figura 66).

El objetivo de esta acción ha sido el ofrecer a la sociedad almeriense en general y a la comunidad académica en particular una visión de las actividades de investigación y desarrollo tecnológico que se llevan a cabo en la provincia en relación con las energías renovables y la conservación del medio ambiente.

Para la puesta en práctica de la acción se ha involucrado a dos entidades que destacan por sus actividades relacionadas con el estudio e implantación de las tecnologías renovables, así como con el conocimiento y la conservación del medio ambiente en la provincia de Almería: la Universidad de Almería (UAL) y el Instituto de Estudios Almerienses (IEA).



Figura 66. Poster de ALMERIA EN RENOVABLE

Para llevar a cabo el proyecto se estableció un reparto de las responsabilidades entre los tres socios del evento mediante la firma de un convenio tripartito. En dicho convenio quedó establecido CIEMAT-PSA como coordinador y principal responsable de esta acción, ocupándose de la gestión de los fondos concedidos por FECYT. En cuanto a las tareas en sí, CIEMAT-PSA asumió la responsabilidad sobre el espacio expositivo, la UAL lo hizo sobre el ciclo de conferencias y el IEA se ocupó de organizar la ruta guiada. La información al público sobre la celebración de los distintos eventos se realizó de modo 'horizontal', es decir, con la responsabilidad compartida entre los tres socios.

Montaje de un Espacio Expositivo en el Campus de la Universidad de Almería

Socio responsable: Plataforma Solar de Almería (CIEMAT)

Este espacio expositivo ha consistido en una carpa de 100 m² dotada con tres 'stands', uno por cada socio de esta iniciativa, albergando material informativo sobre las actividades realizadas en relación con las energías renovables y el medio ambiente: posters, folletos, videos, maquetas y elementos demostrativos de la tecnología. Se estima que unos diez mil estudiantes del Campus visitaron el espacio expositivo.

Se organizó un acto de inauguración para los medios de comunicación.

Se expusieron una serie de libros en el 'stand' de la Plataforma Solar y se ofrecía un formulario para solicitar ejemplares gratuitos. Tras la conclusión de las jornadas se atendió



Figura 67. Stand de la PSA en la Semana de la Ciencia

- Control del clima en invernaderos

Ciclo de Conferencias

Socio responsable: Universidad de Almería

El ciclo de conferencias tuvo lugar en el auditorio de la propia universidad, celebrándose dos conferencias en cada uno de los días lectivos de la 'Semana'.

En la siguiente tabla se recoge el programa definitivo del ciclo:

Fecha	Hora	Título	Ponente
4.XI	18:00	La Plataforma Solar de Almería: Centro de Excelencia Europeo para la Investigación de la Energía Solar Térmica	D. Manuel Romero Álvarez. Director de la Plataforma Solar de Almería (PSA)
	19:30	Recursos solares de la provincia de Almería.	D. Manuel Pérez García. Dpto. de Física Aplicada de la UAL
5.XI	18:00	Aplicaciones de la Química Solar a los Problemas Medioambientales de la Provincia de Almería.	D. Sixto Malato Rodríguez. Investigador del proyecto 'Química Solar' de la Plataforma Solar de Almería.
	19:30	Detoxificación y reutilización de residuos típicos de agricultura intensiva. Agua y plástico	D. Amadeo Rodríguez Fernández-Alba, Dpto. Química Analítica, UAL
6.XI	18:00	Potencial de la arquitectura bioclimática en Almería. El ejemplo del proyecto MEDUCA.	Dña. Rosario Heras Celemín Responsable del proyecto 'Energía solar en la edificación' en el CIEMAT.
	19:30	Activación fotoquímica de compuestos fosforados mediada por catalizadores homogéneos.	D. Antonio Romerosa Nievas, Dpto. Química Orgánica, UAL
7.XI	18:00	Sistemas de control de plantas solares.	D. Manuel Berenguel Soria. Dpto. de Lenguajes y Computación, UAL
	19:30	Desalación de agua mediante energía solar térmica: el proyecto europeo 'AQUASOL' de la Plataforma Solar de Almería	D. Diego César Alarcón Padilla. Investigador del proyecto 'Química Solar' de la Plataforma Solar de Almería.
8.XI	18:00	Alternativas al reciclado y gestión de los residuos sólidos agrícolas.	D. Francisco Camacho Ferre. Dpto. de Producción Vegetal. UAL
	19:30	La generación directa de vapor para producción de electricidad: El proyecto DISS de la PSA.	D. Eduardo Zarza Moya. Responsable del proyecto 'Tecnología de colectores cilindro-parabólicos' en la PSA.

el mayor número posible de solicitudes en función del número de ejemplares disponibles de cada título.

Como actividad complementaria se programaron una serie de breves demostraciones de carácter tecnológico, las cuales se iban anunciando el día anterior. Entre ellas cabe mencionar las siguientes:

- Funcionamiento del proceso de destoxificación de aguas residuales mediante procesos foto-catalíticos

El promedio de asistencia a las conferencias ha sido de unas treinta personas. Se entregaron diplomas de asistencia a petición.

Programa de visitas guiadas

Socio responsable: Instituto de Estudios Almerienses

Se organizó una ruta en autobús para visitar distintos focos de interés en la provincia en relación con las energías renovables y la tecnología aplicada a la resolución de problemas medioambientales.

Esta se realizó el viernes, 8 de noviembre, y se siguió el itinerario que se describe a continuación, con una duración de un día completo:

- Plataforma Solar de Almería (Tabernas)
- Parque Eólico de Enix

Asistieron 72 personas distribuidas en dos autobuses.

El grupo estuvo acompañado por un representante del Instituto de Estudios Almerienses y además, en cada centro visitado, por un guía con la debida cualificación para dar las explicaciones pertinentes.



Figura 68. Stand del Instituto de Estudios Almerienses en la Semana de la Ciencia

Ensayos en el Horno Solar

En el Horno Solar, durante el año 2002, y en el marco del programa Mejora del Potencial Humano (IHP) de la Unión Europea, se han realizado varios tipos de ensayos de materiales para dos grupos de investigación europeos. Además se ha probado un receptor volumétrico con distintos absorbedores.

Investigadores del Instituto Aeroespacial Alemán "DLR" junto con la empresa alemana Babcock, el Instituto Superior Técnico de Lisboa "IST" de Portugal, y la Universidad Técnica de Riga "RTU" de Letonia, en colaboración con el Grupo de Materiales de la PSA, han llevado a cabo ensayos con distintos tipos de probetas en la MiniVac (mini cámara de vacío) en condiciones de presión atmosférica y en atmósferas controladas de argón y de nitrógeno, tanto en el plano horizontal como en el vertical. Además se han probado varios absorbedores (receptores) en el receptor volumétrico VMR del DLR y ha comenzado la campaña de tests de sinterización que el Grupo de Materiales de la PSA está realizando con probetas consistentes en mazos de alambres de cobre de distinta sección.



Figura 69. Concentrador parabólico y cámara de vacío

Los ensayos realizados para el **DLR-Babcock BSH** tienen por objeto el reciclado de aluminio en el Horno Solar, el cual constituye una tecnología innovadora con grandes expectativas para el desarrollo futuro de manufacturas de aluminio con alta eficiencia y bajas emisiones y puede sustituir con ventaja a las energías fósiles convencionales por la reducción de los gases emitidos, evitando la generación de gases que contribuyen a crear el efecto invernadero y otros contaminantes.

El proyecto consta de dos partes; la primera consiste en un estudio de viabilidad del tratamiento mediante energía solar térmica de chatarra de aluminio en el Horno Solar de la PSA. La MiniVac se ha usado como receptor para los tratamientos a alta temperatura de diferentes tipos de chatarra de aluminio. Si bien la idea inicial era tratar el aluminio dentro de la MiniVac en atmósfera inerte -donde se reducen las pérdidas por oxidación de las probetas-, finalmente los ensayos se llevaron a cabo a presión atmosférica en condiciones ambiente.

La segunda parte del proyecto consiste en la preparación para el desarrollo, manufactura y operación de una planta de demostración de reciclado termo-solar del aluminio usando como elemento central un horno rotativo con calentamiento híbrido.

Durante la campaña con el DLR-Babcock se realizaron varios tests con pequeños trozos de chapa de aluminio a temperaturas entre 500 °C y 600 °C y tiempos de ensayo de unos 10 minutos.

Las campañas de ensayos llevados a cabo para **la Universidad Técnica de Riga (RTU)** están dirigidas a la investigación con nanomateriales cerámicos basados en nitruro de silicio, carbonitruro de silicio con diferentes contenidos de alúmina e ytria y en los silones. Las nanocomposiciones $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-Y}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ así como los dopantes $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-SiC}$, TiN se han preparado mediante síntesis plasmaquímica a partir de polvos metálicos (Si, Ti) y óxidos (Y_2O_3 , Al_2O_3).

La producción de materiales nanoestructurados demanda el desarrollo de nuevos métodos de sinterización no convencionales como sinterización por chispa (spark sintering), microondas o el sinterizado por plasma, a los que se puede añadir la sinterización en un horno solar.

Las probetas se han producido mediante prensado en caliente (hot pressing) hasta 1800 °C en atmósfera de nitrógeno en las instalaciones del Centro Austríaco de Investigación (ARC-Seibersdorf).

Pastillas de composición nanoestructural $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-}6\text{Y}_2\text{O}_3\text{-}3\text{Al}_2\text{O}_3$, beta-sialones, óxido de aluminio y óxido de titanio, fueron sinterizadas en el Horno Solar a diferentes temperaturas y tiempos de calentamiento en atmósfera de nitrógeno.

La sinterabilidad de los composites fue comparada con la del nitruro de silicio industrial con aditivos óxidos. Las muestras habían sido previamente prensadas y presinterizadas en atmósfera de nitrógeno.

Se llevaron a cabo tres campañas de ensayo con una gran cantidad de tests realizados a temperaturas entre 800°C y 1750°C y tiempos desde 15 minutos hasta 2 horas.

Durante el 2002 se han realizado varios tests para el **Instituto Superior Técnico de Lisboa (IST)** con probetas de W+aC_x a distintas estequiometrias $x = 1.5, 2.5$ y 5 , con el objeto de sintetizar carburos y carbonitruros de wolframio.

Las muestras se prepararon a partir de polvos de metal de W y carbono que fueron mezclados homogéneamente y posteriormente compactados, a una presión de 40 MPa, en pastillas de 10 mm de diámetro por 5 mm de altura.

Para el tratamiento, las pastillas así preparadas se colocaron en un crisol de grafito y fueron introducidas dentro de la MiniVac situada en posición horizontal de tal manera que las muestras se trataron en el plano vertical donde el horno solar alcanza el máximo flujo térmico. Durante los ensayos la cámara fue inertizada mediante una corriente de argón a 1.4 bar y las probetas expuestas al alto flujo del horno se calentaron hasta 1650°C en 5 minutos, manteniéndolas a esta temperatura durante 30 minutos.

Tres ensayos fueron realizados con estas probetas de W+aC_x , de tal manera que se completó la campaña de ensayos de 2001, en el que diferentes probetas de Si y de los metales del grupo de transición "d" –excepto el Hf– fueron sometidas a tratamiento térmico en el Horno Solar.

El **Grupo de Materiales de la PSA** está desarrollando una línea de investigación basada en el sinterizado con energía solar concentrada. La sinterización es uno de los métodos de fabricación de metales y cerámicas más antiguo. Hoy día se usa comúnmente para obtener cuerpos sólidos a partir de polvos metálicos, cerámicos y, más recientemente, algunos polímeros. Este proceso suele ir acompañado de un incremento de la conductividad, resistencia mecánica, ductilidad y, en muchos casos, la densidad. Se estima que no existe ningún campo o sector industrial en el que no sean utilizados productos sinterizados ya que entre las ventajas de este proceso cabe destacar la posibilidad de obtener un producto con una homogeneidad y precisión dimensional superior a la conseguida

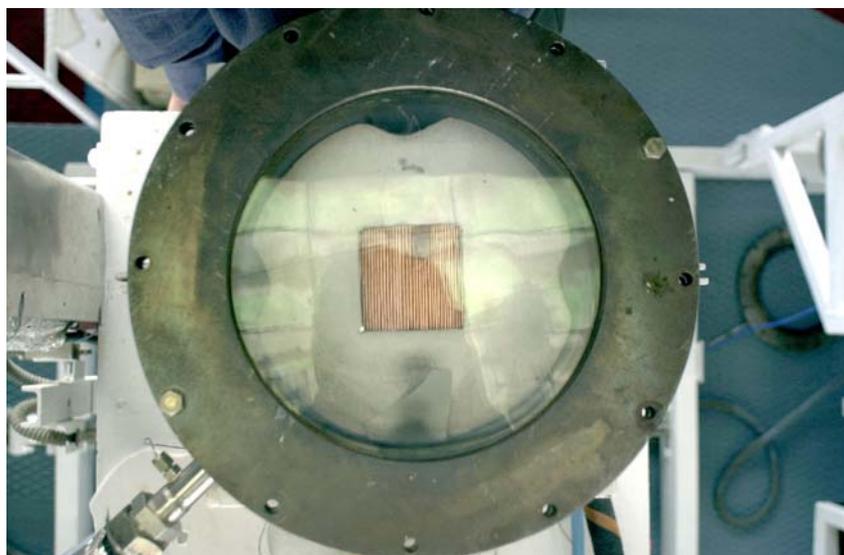


Figura 70. Probeta de cobre en la MiniVac

por otras técnicas y con menor coste. El sinterizado hace un uso más eficiente de las materias primas, contamina menos y en ocasiones constituye el único camino viable para la fabricación de una pieza.

La energía necesaria para el sinterizado, a pesar de ser menor que en otros procesos de producción, es elevada, por lo que es muy interesante estudiar el uso de una fuente de energía renovable, como es la energía solar térmica, que permita que este proceso sea medioambientalmente más correcto.

Las condiciones particulares de la sinterización de partículas metálicas, que deben realizarse a altas temperaturas y en atmósferas controladas o en vacío, pueden obtenerse en los hornos solares ya que estas instalaciones, además de alcanzar concentraciones energéticas y temperaturas muy elevadas, admiten el uso de cámaras de vacío y sistemas de preparación de gases.

En el Horno Solar de la Plataforma Solar de Almería se han llevado a cabo experiencias de sinterización durante distintas campañas, habiéndose configurado diferentes dispositivos experimentales para poder evaluar la viabilidad del proceso. Durante el año 2002, con objeto de facilitar la comprensión de los fenómenos que tienen lugar durante el sinterizado, se ensayaron probetas de alambres de cobre de elevada pureza; se realizaron aproximadamente una decena de ensayos en atmósfera reductora, a temperaturas que oscilaron entre 850 y 1050°C y tiempos de exposición variables, entre 1 y 3 horas.

El posterior análisis de las piezas ensayadas muestra la viabilidad del sinterizado de cobre en hornos solares, desarrollando las probetas tratadas cuellos bien definidos y reduciendo su porosidad, características propias del sinterizado.

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.

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 Universidad Técnica de Creta (Grecia), en concreto su Departamento de Fenómenos de Transporte y Termodinámica Aplicada. Personal de este departamento visitó la instalación durante varias semanas, familiarizándose con la operación diaria de las unidades y colaborando finalmente en la elaboración de un manual de operación del mismo.



Figura 71. Disco parabolico tipo EuroTrough en funcionamiento

Referencias Documentación

Alarcón D., J. Blanco, E. Zarza, S. Malato. Comparación económica de procesos de desalación de agua de mar: el reto de la destilación multi-efecto con energía solar. XI Congreso Ibérico e VI Congreso Ibero-Americano de Energía Solar. Vilamoura, Portugal, 29 de Sep a 2 de Oct. 2002. Livro de Resumos, Colprinter Lda., Lisboa, p. 58. 2002

Augugliaro V., A. Bianco Prevot, J. Cáceres Vázquez, E. García-López, A. Irico, V. Loddo, S. Malato Rodríguez, G. Marcí, L. Palmisano, E. Pramauro. Photocatalytic oxidation of acetonitrile in aqueous suspension of titanium dioxide irradiated by sunlight. Improving Human Potential Programme, Proceedings of 2nd Users Workshop. Almería, February 26, 2002. CIEMAT, ISBN 84-7834-425-x. pp. 11-18, 2002(a).

Augugliaro V., C. Baiocchi, A. Bianco Prevot, E. García-López, V. Loddo, S. Malato, G. Marcí, L. Palmisano, M. Pazzi, E. Pramauro. Azo-dyes photocatalytic degradation in aqueous suspension of TiO₂ under solar irradiation. Int. seminar on Advanced Oxidation Technologies (ISAOT 2002). Sante Fé, Argentina, Sept. 24-26. Book of abstracts, p. 23. 2002(b)

Augugliaro V., C. Baiocchi, A. Bianco Prevot, E. García-López, V. Loddo, S. Malato, G. Marcí, L. Palmisano, M. Pazzi, E. Pramauro. Azo-dyes photocatalytic degradation in aqueous suspension of TiO₂ under solar irradiation. Chemosphere, 49, 1223-1230, 2002(c).

Augugliaro V., C. Baiocchi, A. Bianco Prevot, M.C. Brussino, E. García-López, V. Loddo, S. Malato, G. Marcí, L. Palmisano, E. Pramauro. Sunlight photocatalytic degradation of azo-dyes in aqueous suspension of polycrystalline TiO₂. Fresenius Environ. Bull, 11(8), 459-464, 2002(d).

Ballestrín J. (2002). "A non-water-cooled heat flux measurement system under concentrated solar radiation conditions". Solar Energy, vol. 73, no. 3, pp. 159-168.

Ballestrín J., Monterreal R. (2002a). "Improvements on heat flux measurement", Proc. of the 17th Task III Meeting within IEA SolarPACES on Solar Technology and Applications, Aguadulce, Spain, 26 April 2002; SolarPACES Tech. Report. III-1/02. , Ed. R. Pitz-Paal, DLR, Köln, Germany. pp 101-105.

Ballestrín J., Monterreal R. (2002b). "Hybrid Heat-Flux Measurement System for Solar Central Receiver Evaluation". 11th SolarPACES International Symposium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies. September 4-6, 2002. Zurich, Switzerland. Pp. 575-582. ISBN: 3-9521409-3-7.

Blanco J., E. Zarza, D. Alarcón, S. Malato, J. León. Advanced solar desalination: a feasible technology to the Mediterranean area. Eurosun 2002, 4th ISES Europe Solar Congress. Bologna, Italy, June 23-26. Book of abstracts, p. 143. 2002(a)

Blanco J., S. Malato, A. Vidal. Fotocatálisis Solar. Ibérica Actualidad Tecnológica, 455, 40-404, 2002(b).

Blanco J., S. Malato, A. Vidal. Tratamiento de contaminantes en agua mediante fotocatalisis solar. *Era Solar*, 111, 32-39, 2002(c).

Blanco J., S. Malato. Solar photocatalysis: application to the treatment of pesticides in water. En: *Water Recycling and Resource Recovery in Industry: Analysis, Technologies and Implementation*. P. Lens L. Hulshoff, P. Wildener and T. Asano (eds.), IWA Publish., London, UK. ISBN 1-84339-505-1. pp. 623-652. 2002(d).

Blanco Julián, Eduardo Zarza, Diego Alarcón, Sixto Malato, Javier León. Advanced Multi-Effect Solar Desalination Technology: The PSA Experience. *Proceedings of 11th Solarpaces Inter. Symp. on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies*. Zurich, Switzerland, September 4-6, 2002. A. Steinfeld (ed.), pp. 479-488. 2002(e).

Buck R., Romero M., Pacheco J. (2002). "Solar Central Receiver Systems: Scaling-Up to the First Generation of Grid-Connected Commercial Plants". *World Renewable Energy Congress VII & Expo*, Cologne, Germany, 29 June - 5 July, 2002. Ed. A.A.M. Sayigh. CD-Rom. ISBN: 008-044079-7.

Cáceres J., S. Malato, J. Blanco, A. Agüera, A. R. Fernández-Alba, M. Mezcua, D. Hernando, L. Piedra. Técnicas analíticas avanzadas para la evaluación de fotocatalisis solar. *Uso de Materiales Semiconductores para Aplicaciones Ambientales*, Sevilla 4 al 7 de Junio de 2002. G. Colón y J. A. Navío (eds.). Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla, ISBN: 84-699-8476-4. Libro de Resúmenes, Poster P.12. 2002(a)

Cáceres J., S. Malato, J. Blanco. A. Agüera, A. R. Fernández-Alba, M. Mezcua, D. Hernando, L. Piedra. Advanced analytical techniques for evaluation of solar photocatalysis. *2nd European Meeting on Solarchemistry and Photocatalysis: Environmental Applications*. Saint-Avold, France. Mai 29-31, 2002. Poster presentation. Abstract P25. 2002(b)

Catastini C., G. Mailhot, S. Malato and M. Sarakha. Iron (III) aquacomplexes as catalysts for pesticides mineralisation by sunlight irradiation. *Improving Human Potential Programme*, *Proceedings of 2nd Users Workshop*. Almería, February 26, 2002. CIEMAT, ISBN 84-7834-425-x. pp. 3-10, 2002.

Fara L., Fara S., Valverde A., Finta D. (2002). "General approach of the monitoring systems for Central Receiver Plants (CRP) and PV plants". *11th SolarPACES International Symposium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies*. September 4-6, 2002. Zurich, Switzerland. Pp. 607-611. ISBN: 3-9521409-3-7.

Fernández-Alba A. R., D. Hernando, A. Agüera, J. Cáceres, S. Malato. Toxicity assays: a way for evaluating AOPs efficiency. *Wat. Res.*, 36, 4255-4262, 2002.

García G. (2002), "First autonomous heliostat field – The PCHA Project". *Proceedings of the IEA/SolarPACES Tasks Meetings*. Interlaken (Switzerland), September 9-10, 2002. Pub. CIEMAT. ISBN 84-7834-432-2.

Herrmann J. M., Ch. Guillard, J. Disdier, C. Lehaut, S. Malato, J. Blanco. New industrial titania photocatalysts for the solar detoxification of water containing various pollutants. *Appl. Catal. B: Environ.*, 35, 281-294, 2002.

Hoffschmidt B., Fernández V., Pitz-Paal R., Romero M., Stobbe P., Téllez F. (2002). "The Development Strategy of the HitRec Volumetric Receiver Technology - Up-Scaling from 200kWth via 3MWth up to 10MWel –". *11th SolarPACES International Symposium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies*. September 4-6, 2002. Zurich, Switzerland. Pp. 117-126. ISBN: 3-9521409-3-7.

Improving Human Potential Programme. *Proceedings of the 2nd Users Workshop*, 26 February, 2002. Serie Ponencias del CIEMAT. Varios autores. ISBN 84-7834-425-X.

Kositzi M., I. Poullos, S. Malato, J. Cáceres, A. Campos. Solar Photocatalytic Treatment of Synthetic Municipal Wastewater. *Improving Human Potential Programme*, *Proceedings of 2nd Users Workshop*. Almería, February 26, 2002. CIEMAT, ISBN 84-7834-425-x. pp. 33-40, 2002.

Mailhot G., M. Sarakha, B. Lavedrine, J. Cáceres, S. Malato. Fe(III)-solar light induced degradation of diethyl phthalate (DEP) in aqueous solution. *Chemosphere*, 49, 525-532, 2002.

Malato S., A. Vidal. Pre-industrial experience in photocatalytic mineralisation of real drinking and wastewaters containing pesticides. In: *New Challenges in Catalysis III*. P. Putanov (ed.). Serbian Academy of Science and arts, Branch in Novisad, Serbia. ISBN 86-81125-55-9. pp. 93-108. 2002(a).

Malato S., J. Blanco, A. Vidal, C. Richter. Photocatalysis with solar energy at a pilot-plant scale: an overview. *Appl. Catal. B: Environ.*, 37, 1-15, 2002(b). REVIEW.

Malato S., J. Blanco, A. Vidal, P. Fernández, J. Cáceres, P. Trincado, J. C. Oliveira, M. Vincent. New large solar photocatalytic plant: set-up and preliminary results. *Chemosphere*, 47, 235-240, 2002(c).

Malato S., J. Blanco, J. Cáceres, A. R. Fernández-Alba, A. Agüera, A. Rodríguez. Photocatalytic treatment of water-soluble pesticides by photo-Fenton and TiO₂ using solar energy. *Catalysis Today*, 76, 209-220, 2002(d).

Malato S., Julián Blanco, Alfonso Vidal, Antonio Campos, Julia Cáceres, Raquel Rodríguez. A Coupled Advanced Oxidation-Biological Process for Recycling of Industrial Wastewater Containing Persistent Organic Contaminants. The CADOX Project. 2nd European Meeting on Solarchemistry and Photocatalysis: Environmental Applications. Saint-Avold, France. Mai 29-31. Oral presentation. Abstract O28. 2002(e)

Malato S. Evaluación de mecanismos de destrucción de orgánicos en agua: Aplicaciones medioambientales. *Uso de Materiales Semiconductores para Aplicaciones Ambientales*, Sevilla 4 al 7 de Junio de 2002. G. Colón y J. A. Navío (eds.). Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla, ISBN: 84-699-8476-4. Libro de Resúmenes, 33-39. 2002(f).

Mañas S., A. Romerosa, C. Richter, S. Malato, J. Blanco. Diseño y desarrollo de sistemas fotoquímicos para la síntesis de compuestos orgánicos e inorgánicos. *Uso de Materiales Semiconductores para Aplicaciones Ambientales*, Sevilla 4 al 7 de Junio de 2002. G. Colón y J. A. Navío (eds.). Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla, ISBN: 84-699-8476-4. Libro de Resúmenes, Poster P.11. 2002(a)

Mañas S., A. Romerosa, C. Richter, S. Malato. Reactor Micromolar Fotoquímico, nº solicitud P200200835 (confirmada), 2002(b)

Marcos M.J, Romero M., Mendoza S., Díez L.E. (2002). "Distributed Power from Modular Solar Tower Systems: The SOLAUT Approach". *Proceedings of EuroSun 2002*. June 23 - 26, 2002 - Bologna, Italy. Eds. R. Battisti and C. Silvi. Pub. by ISES-Italia. Roma. CD-Rom. ISBN - 88-900893-0-X.

Marcos M.J., Romero M. (2002). "Desarrollo de un Modelo Fluidodinámico para la Optimización y Diseño del Sistema de Recirculación de Receptores Volumétricos". *Actas XI Congreso Ibérico e VI Congreso Ibero-Americano de Energía Solar*. 29 sept.-2 oct., 2002, Vilamoura, Portugal. Eds. J. Farinha Mendes, M. J. Carvalho e P. Horta, Sociedade Portuguesa de Energia Solar, Lisboa (Portugal). CD-Rom (Com. Nº 10). ISBN-972-95854-5-8.

Marcos M.J., Romero M., Palero S. (2002). "Analysis of air return alternatives for CRS-type open volumetric receiver". *11th SolarPACES International Symposium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies*. September 4-6, 2002. Zurich, Switzerland. Pp. 127-134. ISBN: 3-9521409-3-7.

Mezcua M., A. Agüera, M^a.J. Gómez, A.R. Fernández-Alba, J. Cáceres, S. Malato. Evaluation of degradation pathway of MTBE in water under a solar photo-fenton treatment plant. *Uso de Materiales Semiconductores para Aplicaciones Ambientales*, Sevilla 4 al 7 de Junio de 2002. G. Colón y J. A. Navío (eds.). Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla, ISBN: 84-699-8476-4. Libro de Resúmenes, Poster P.13. 2002(a)

Mézcua M., A. Agüera, M^a.J. Gómez, A.R. Fernández-Alba, J. Cáceres, S. Malato. Evaluation of degradation pathway of MTBE in water under a solar photo-fenton treatment plant. VIII Reunión del Grupo Andaluz de la Soc. Española de Química Analítica. Almuñecar, Granada, 26-27 Septiembre. 2002(b).

Monterreal R. (2002). "Fiat_Lux: Computer code for heliostat optical simulation", Proc. of the 17th Task III Meeting within IEA SolarPACES on Solar Technology and Applications, Aguadulce, Spain, 26 April 2002; SolarPACES Tech. Report. III-1/02. , Ed. R. Pitz-Paal, DLR, Köln, Germany, pp 83-86.

Nguyen Dinh An C., J. Dussaud, C. Guillard, J. Disdier, S. Malato and J. M. Herrmann. Solar efficiency of a new deposited titania photocatalyst : Pesticide and dye removal applications. Improving Human Potential Programme, Proceedings of 2nd Users Workshop. Almería, February 26, 2002. CIEMAT, ISBN 84-7834-425-x. pp. 25-32, 2002.

Parra S., C. Pulgarín, S. Malato. New integrated photocatalytic-biological flow system using supported TiO₂ and fixed bacteria for the mineralisation of isoproturon. Appl. Catal. B: Environ., 36, 131-144, 2002.

Robert D., S. Malato, A. Gauthier. L'eau épurée par le Soleil. Pour la Science, 298, 90-91, 2002(a).

Robert D., S. Malato. Solar photocatalysis: a clean process for water detoxification. Sci. Total Environ., 291, 85-97, 2002(b).

Rodríguez R., S. Malato, J. Blanco. Combinación de Procesos de Oxidación Avanzada (POAs) y Procesos Biológicos en el Tratamiento y Reciclado de Efluentes Industriales con Contaminantes Orgánicos Persistentes en Agua. Proyecto CADOX. Uso de Materiales Semiconductores para Aplicaciones Ambientales, Sevilla 4 al 7 de Junio de 2002. G. Colón y J. A. Navío (eds.). Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla, ISBN: 84-699-8476-4. Libro de Resúmenes, Poster P.10. 2002

Romero M. (2002a), "MODULARES Project". Proceedings of the IEA/SolarPACES Tasks Meetings. Interlaken (Switzerland), September 9-10, 2002. Eds. M. Romero, A. Steinfeld, V. Quaschnig. Pub. CIEMAT. ISBN 84-7834-432-2.

Romero M. (2002b), "Solar Thermal Power Projects in Spain". Proceedings of the IEA/SolarPACES Tasks Meetings. Interlaken (Switzerland), September 9-10, 2002. Pub. CIEMAT. ISBN 84-7834-432-2.

Romero M., Buck R., Pacheco J.E. (2002), "An Update on Solar Central Receiver Systems, Projects, and Technologies.", Int. J. Solar Energy Eng., Vol. 124, pp. 98-108.

Romero M., Egea A., Gázquez J.A., García G. (2002). "Implementing Wireless Communication Into Heliostat Fields". 11th SolarPACES International Symposium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies. September 4-6, 2002. Zurich, Switzerland. Pp 567-574. ISBN: 3-9521409-3-7.

Romero M., Marcos M.J., Domínguez J., Fernández V., Mendoza S., Díez L.E. (2002). "Solar-Biomass Integration Scheme for Tower Power Plants". Proceedings of EuroSun 2002. June 23 - 26, 2002 - Bologna, Italy. Eds. R. Battisti and C. Silvi. Pub. by ISES-Italia. Roma. CD-Rom. ISBN - 88-900893-0-X.

Romero M., Marcos M.J., Domínguez J., Osuna R., Fernández V., Mendoza S., Esteban L. (2002). "Solbio: Solar-Biomass Hybrid Tower Power Plant". World Renewable Energy Congress VII & Expo, Cologne, Germany, 29 June - 5 July, 2002. Ed. A.A.M. Sayigh .CD-Rom. ISBN: 008-044079-7.

Romerosa A., S. Mañas, C. Richter, Síntesis fotoquímica de derivados ácidos de fósforo y sus ésteres a partir de fósforo elemental blanco, nº solicitud P20020173, 2002

Saoud M., A. Romerosa, S. Mañas, L. Gonsalvi, M. Peruzzini. Ruthenium-Catalysed Selective Transesterification of Substituted Vinyl Ethers To Form Acetals and Aldehydes. *Eur. J. Inorg. Chem.*, 1614-1619, 2003

Sarria V., P. Péringer, J. Cáceres, J. Blanco, S. Malato, C. Pulgarin. Solar degradation of 5-amino-6-methyl-2-benzimidazolone by TiO₂ and iron(III) catalyst with H₂O₂ and O₂ as electron acceptors. *Proceedings of 11th Solarpaces Inter. Symp. on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies*. Zurich, Switzerland, September 4-6. A. Steinfeld (ed.), pp. 489-496. 2002

Sugarmen C., Ring A., Buck R., Uhlig R., Beuter M., Marcos M.J., Fernandez V. (2002). "Solar-Hybrid Gas Turbine Power System". 11th SolarPACES International Symposium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies. September 4-6, 2002. Zurich, Switzerland. Pp. 101-108. ISBN: 3-9521409-3-7.

Téllez F., Hoffschmidt B., Valverde A., Fernández-Reche J., Romero M., Monterreal R., Ballestrín J. (2002). "Performance evaluation of the 200 kWt 'HitRec II' volumetric receiver". 11th SolarPACES International Symposium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies. September 4-6, 2002. Zurich, Switzerland. Pp 147-154 ISBN: 3-9521409-3-7.

Téllez F.M., Romero M., Reche J.F., Valverde A. (2002). "Desarrollo de receptores solares avanzados para Centrales Termosolares de Receptor Central". *Actas XI Congreso Ibérico e VI Congreso Ibero-Americano de Energía Solar*. 29 sept.-2 oct., 2002, Vilamoura, Portugal. Eds. J. Farinha Mendes, M. J. Carvalho e P. Horta, Sociedade Portuguesa de Energia Solar, Lisboa (Portugal). CD-Rom (Com. Nº 11).ISBN-972-95854-5-8.

Vidal A., S. Malato, J. Blanco. Procesos solar fotocatalíticos en el tratamiento de efluentes; aplicación al tratamiento de aguas de lavado conteniendo plaguicidas. *Ing. Química*, 386, 106-111, 2002(a).

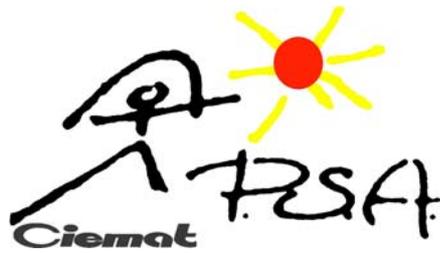
Vidal A., J.R. Jurado, M. Colomer. "Reducción fotoasistida de CO₂ mediante catalizadores RuO₂-TiO₂". *XI Congreso Ibérico e VI Congreso Ibero-Americano de Energía Solar*. Vilamoura, Portugal, 29 de Sep a 2 de Oct. 2002. *Livro de Resumos*, Colprinter Lda., Lisboa. p. 53. 2002(b).

Lista de Acrónimos

ABB	Asea Brown Boveri AG
AICIA	Asociación de Investigación y Cooperación Industrial de Andalucía
AIE	Agencia Internacional de la Energía
ARC	Centro Austríaco de Investigación (Seibersdorf)
CAM	Comunidad Autónoma de Madrid
CCP	Colector cilindroparabólico
CE	Comisión Europea
CESA-1	Central Eléctrico Solar Almería-1
CET	Centrales Eléctricas Termosolares
CHA	Convenio Hispano Alemán
CIEMAT- DER	Centro de Investigaciones Medio Ambientales y Tecnológicas – Dept. of Renewable Energies
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique (F)
COD	Chemical oxygen demand
COT	Carbón orgánico total
COV	Compuestos orgánicos volátiles
CPC	Colector Cilindro-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
DBO	Demanda biológica de oxígeno
DBO5	Demanda biológica de oxígeno a los 5 días
DCS	Distributed Collector System
DCT	Detector de conductividad térmica
DEAHP	Bomba de calor de absorción de doble efecto
DG RDT	Directorado General Investigación, Desarrollo, Tecnología (CE)

DG TREN	Directorado General de Transporte y Energía (CE)
DISS	Vapor Solar Directo
DISTAL	Instalación de Ensayo de Discos de Almería
DLR	Agencia Aeroespacial Alemana (Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt eV)
DP	Degradation product
DQO	Demanda química de oxígeno
EHN	Energía Hidroeléctrica de Navarra
EPFL	Ecole Polytec. Federale deLausanne (CH)
ET-II	Eurotrough II
ETH	Escuela Politécnica de Zurich
FEDER	Fondo Europeo de Desarrollo Regional
FID	detector de ionización por llama
FV	fotovoltaica
GC-AED	cromatografía de gases con detector de emisiones atómicas
GC-MS	cromatografía de gases acoplado a masas
GDV	generación directa de vapor
HDPE	polietileno de alta densidad
HST	Tecnología de torre solar de alta eficiencia
HTF	Fluido de transferencia de calor
IEA	Instituto de Estudios Almerienses
IHP	Mejora del Potencial Humano de Investigación (CE)
INABENSA	Instalaciones Inabensa, S.A.
INCO	Cooperación Internacional en Ciencia y Tecnología (CE)
INETI	Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial (P)
IST	Instituto Superior Técnico de Lisboa (p)
LC-GC	Cromatografía de líquidos, cromatografía de gases
LC-MS	Cromatografía de líquidos acoplado a masas
LECE	Laboratorio de Ensayo Energético de Componentes de la Edificación
LS-3	Colectores "Luz System 3"
MCYT	Ministerio de Ciencia y Tecnología
MED	destilación multiefecto
MiniVAC	Mini Cámara de Vacío
PAO	proceso avanzado de oxidación
PCHA	Primer campo de helióstatos autónomos-Fase I
POC	compuestos orgánicos persistentes
PS10	10 MW Solar Thermal Power Plant
PTC	parabolic trough collector

RFA	radiación fotosintéticamente activa
RTU	Universidad Técnica de Riga
SBP	Schlaich Bergermann und Partner
SDS	dodecilsulfato sódico
SEGS	Solar Electric Generating Systems
SERLED	SERLED Consultores
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
SOLUCAR	Solúcar Energía, SA
SSPS	Small Solar Power Systems
TRC	tecnología de receptor central
TSA	Programa de Tecnología de Receptor Solar de Aire
UAL	Universidad de Almería
UNAM-CIE	Universidad Nacional Autónoma de México - Centro de Investigación en Energía
UNED	Universidad Nacional de Educación a Distancia
UVA	Ultravioleta A
UVB	Ultravioleta B
VMR	Receptor volumétrico del DLR
ZSW	Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg



Plataforma Solar de Almería

Carretera de Senés s/n

P.O. Box 22

04200 TABERNAS (Almería), Spain

Phone: +34 950 387900

Fax: +34 950 365300

e-mail: info@psa.es

web: www.psa.es