

EL MAYOR CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍAS DE CONCENTRACIÓN TERMOSOLAR: LA PLATAFORMA SOLAR DE ALMERÍA

M. Ignacio Maldonado

Unidad de Dirección de la Plataforma Solar de Almería (PSA)

Guillermo Zaragoza

Director de la Plataforma Solar de Almería (PSA)

RESUMEN

En este artículo se describe la Plataforma Solar del Almería, el mayor centro mundial dedicado a la investigación y desarrollo de las tecnologías de concentración termosolar y perteneciente al Mapa de Infraestructuras Científicas y Técnicas Singulares (ICTS) del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades.

1. INTRODUCCIÓN

La Plataforma Solar de Almería es un Centro perteneciente al Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), localizado en el municipio de Tabernas (provincia de Almería).

El centro entró en operación en 1981 con la puesta en marcha de la planta de ensayo y validación de componentes con tecnología de receptor central CRS (Central Receiver System), como parte del proyecto SSPS (Small Solar Power Systems) de la Agencia Internacional de la Energía. Su evolución continuó con la construcción del proyecto CES-1, promovido por el Ministerio de Industria y Energía de España, y de otras instalaciones cuyo propósito era concentrar la radiación solar. Hoy día forma parte del Mapa de Infraestructuras Científicas y Técnicas Singulares (ICTS) del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades.

Las actividades se centran en el desarrollo de tecnologías termosolares de concentración (CST) para producir electricidad termosolar (también conocida como energía solar de concentración o CSP) y/o calor de proceso industrial, con el valor añadido de sistemas de almacenamiento de energía térmica (TES). Además, las actividades de I+D de la PSA abordan el desarrollo de nuevos procesos y dispositivos que permiten un mejor aprovechamiento de la radiación solar para otras aplicaciones energéticas y la protección medioambiental, con especial atención a la desalación y al tratamiento de aguas.

La PSA ofrece a la comunidad científica internacional un emplazamiento con una irradiancia solar muy elevada, características climáticas favorables y numerosas instalaciones y laboratorios de investigación de última generación para el adecuado desarrollo de soluciones tecnológicas, plenamente enmarcadas en el ámbito de las tecnologías y aplicaciones de energías renovables. La PSA está situada en el sur de España, en el desierto de Tabernas, donde recibe una radiación solar directa anual superior a 1900 kWh/(m²·año) y presenta una temperatura media de 17 °C. La PSA dispone de una gran superficie llana de 103 hectáreas. Su situación geográfica óptima, gracias a sus características climáticas

(semiáridas) y a la alta irradiación solar, garantiza condiciones muy favorables para desarrollar, ensayar y operar instalaciones solares experimentales a gran y pequeña escala durante todo el año.

2. OBJETIVOS GENERALES

El plan estratégico de la PSA promueve un suministro sostenible y limpio de energía y agua a escala mundial, la preservación de los recursos energéticos e hídricos y la protección del clima y el medio ambiente, estando plenamente alineado con el Pacto Verde Europeo y con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 6 (agua limpia y saneamiento), 7 (energía asequible y no contaminante) y 13 (acción por el clima) de las Naciones Unidas, así como con la prioridad de Transición Ecológica del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia de España.

La actividad de la PSA es, por tanto, muy relevante para la transición hacia una energía limpia en países y regiones con recursos solares. La visión y los objetivos de la PSA encajan con los de la Estrategia Española de Ciencia, Tecnología e Innovación y, en particular, con el Plan Estatal de Investigación Científica, Técnica y de Innovación 2024-2027.

Además, el plan estratégico de la PSA aspira a lograr un mayor impacto social y ambiental vinculado a los objetivos de desarrollo sostenible, como se ha señalado, y refuerza el compromiso con la innovación abierta, promoviendo la incorporación de la ciencia ciudadana y la aplicación de políticas de cocreación y de acceso abierto.

Por último, cabe destacar el papel fundamental de la PSA en la única organización ESFRI (Foro Estratégico Europeo sobre Infraestructuras de Investigación) relacionada con la energía solar (EU-SOLARIS) y su contribución a la definición de su plan estratégico.

3. INSTALACIONES CIENTÍFICAS DE LA PSA

Actualmente la PSA cuenta con 30 instalaciones y 7 laboratorios para investigar y llevar a cabo proyectos en los campos de las tecnologías solares de concentración (colectores cilindroparabólicos, torres solares, Fresnel lineal y discos parabólicos), el almacenamiento térmico de energía asociado, el calor de proceso solar, los ciclos termoquímicos de alta temperatura para la producción de combustibles y materias primas, los procesos fotoquímicos avanzados para la producción de hidrógeno y los tratamientos de agua (descontaminación, desinfección, etc.), la desalación de agua, la concentración de salmueras y el desarrollo de materiales asociados a todos los ámbitos anteriores.

La Figura 1 muestra la ubicación de las instalaciones y los laboratorios anteriores dentro de las 103 hectáreas de superficie de la PSA.

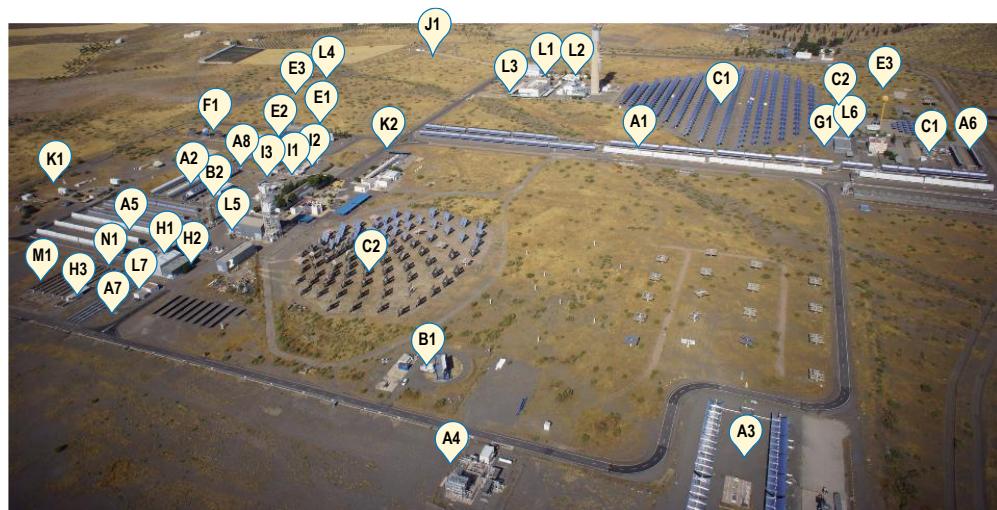


Figura 1. Fotografía aérea de la PSA y ubicación de las instalaciones de ensayo y laboratorios descritos en las Tablas 1 y 2

La siguiente Tabla enumera todas las instalaciones ubicadas en la PSA y que aparecen localizadas físicamente en la Figura 1.

Tabla 1. Listado y breve descripción de las instalaciones que aparecen en la Figura 1.

Tipo y Nombre de la Instalación	Breve Descripción
A) Instalaciones de Concentradores Solares de Foco Lineal	
A1.- DISS 	Un lazo de ensayo de Generación Directa de Vapor (DSG), orientado norte-sur, con colectores cilindroparabólicos (PTC) para experimentar con DSG a vapor de alta presión y temperatura (hasta 100 bar / 500 °C, caudal de 1 kg/s, 2,5 MW térmicos) en los tubos absorbidores de los PTC. Consta de dos subsistemas: el campo solar de PTC (5.400 m ² y 1.000 m de longitud) y el balance of plant (BOP). El campo solar puede configurarse para: a) recirculación (con zonas de evaporación y sobrecalentamiento perfectamente diferenciadas); b) una sola pasada (no se utilizan el separador intermedio agua-vapor ni la bomba de recirculación situados en el campo solar); y c) modo de inyección (se inyecta agua de alimentación en distintos puntos a lo largo del lazo del colector).
A2.- HTF 	Lazo de ensayo de colectores cilindroparabólicos (PTC) de gran tamaño (orientado este-oeste) con 3 unidades de PTC (hasta 275 kW térmicos cada una) para la caracterización de componentes solares: nuevos diseños de PTC, espejos, tubos absorbidores, rótulas, mangueras flexibles, sistemas de seguimiento solar, etc. En esta instalación se utiliza aceite térmico Syltherm 800® (temperatura máxima de trabajo de 400 °C y punto de congelación de -40 °C). Las principales actividades en el bucle de ensayo de fluido térmico (HTF) se centran en estudiar el comportamiento óptico y térmico de colectores cilindroparabólicos completos (eficiencia óptica, coeficiente IAM —modificador del ángulo de incidencia— y eficiencia global/pérdidas de calor) y de los tubos receptores.
A3.- PROMETEO 	Instalación de ensayo orientada este-oeste que permite la cualificación de todos los componentes del colector y de colectores completos de hasta 100 m de longitud; es decir, estructuras, reflectores, receptores de 70 a 90 mm de diámetro y juntas rotativas/flexibles. Gracias a su orientación, posibilita el seguimiento solar cubriendo en un solo día todos los ángulos de incidencia de la radiación solar. Los módulos del colector se conectan al balance of plant (BOP) en configuración en paralelo o en serie mediante la válvula de ajuste ad hoc. Una bomba hace circular un fluido térmico de silicona (SHTF) con un caudal másico similar al de las centrales comerciales basadas en PTC.
A4.- PTTL 	Gran instalación de ensayo implantada en una parcela de 420 m × 180 m de la PSA y compuesta por dos campos solares: a) el del Norte (orientación este-oeste) está diseñado para instalar colectores cilindroparabólicos (PTC) completos con una longitud unitaria máxima de 180 m; dispone de una bomba de aceite (75 m ³ /h) con control de velocidad y un enfriador de aceite de 1,5 MW térmicos refrigerado por aire; b) el campo Sur (orientación norte-sur) está diseñado para instalar lazos completos de PTC (es decir, varios colectores conectados en serie), con una longitud máxima de 640 m; adicionalmente, dispone de una bomba de aceite (125 m ³ /h) con control de velocidad y un enfriador de aceite de 4 MW térmicos refrigerado por aire. Pueden instalarse en paralelo hasta cuatro lazos completos. La instalación también es apta para instalar prototipos de PTC de gran tamaño.
A5.- TCP100 	Instalación PTC de 2,3 MW térmicos con un tanque de almacenamiento termocílico de 115 m ³ de aceite Santotherm-55, especialmente diseñada para realizar estudios relacionados con sistemas de control para campos solares de colectores cilindroparabólicos. La instalación está compuesta por seis PTC modelo TCP 100, instalados en tres lazos paralelos con dos colectores en serie en cada lazo (orientación N-S). Dos lazos de colectores disponen de un sistema de seguimiento solar desarrollado por la PSA, mientras que el tercer lazo cuenta con un sistema de seguimiento solar comercial para comparación. Cada colector está formado por ocho módulos, con una longitud total de 100 m y una anchura de parábola de 5,77 m (545 m ² de superficie total de captación solar).

A6.- IFL	Lazo de ensayo de fluidos innovadores (gases presurizados) en PTC (orientación este-oeste) para estudiar el uso de gases presurizados como fluido térmico en PTC, evaluando su comportamiento bajo diversas condiciones reales de operación y diseñado para trabajar hasta 100 bar y 500 °C. Consta de: a) dos PTC EuroTrough orientados este-oeste, de 50 m de longitud cada uno y 274,2 m ² de superficie colectora, conectados en serie; b) un enfriador de aire de 400 kW con dos ventiladores motorizados de 4 kW cada uno para extraer energía térmica del fluido; y c) un soplante de 15 kW para proporcionar el caudal de gas necesario en los tubos receptores.
A7.-NEP	Lazo de ensayo de 125 kW térmicos con colectores cilindroparabólicos (PTC) de pequeño tamaño (Polytrough 1200). Tiene una producción de 15,8 kW por módulo (0,55 kW/m ²) en condiciones nominales, con una temperatura media del colector de 200 °C y una eficiencia superior al 55 % en el intervalo de 120–220 °C (para 1.000 W/m ² de irradiancia normal directa). El campo está configurado con ocho colectores dispuestos en cuatro lazos paralelos (dos colectores en serie en cada lazo). El aceite térmico puede alcanzar 220 °C, lo que permite evaluar distintos esquemas de poligeneración mediante energía térmica.
A8.- LAVEC	Instalación de ensayo diseñada para evaluar y cualificar colectores solares de foco lineal de pequeño tamaño que emplean agua presurizada como fluido de trabajo en el intervalo de 100–250 °C, muy adecuada para aplicaciones de calor de proceso industrial. Tamaño previsto de los colectores ensayados: hasta 25 m ² por unidad. Longitud del campo: hasta 40 m, en ambas orientaciones (este-oeste y norte-sur). Depósito de almacenamiento de agua caliente de 3 m ³ . La instalación de ensayo cumple las normas vigentes para la evaluación de colectores solares térmicos: ASTM E905-87:2013, SRCC 600 2014-17:2015 e ISO 9806:2017.
B) Otras Instalaciones de Concentradores Solares de Foco Lineal	
B1.- KONTAS	Banco de ensayo rotatorio para colectores cilindroparabólicos y sus componentes, bajo un ángulo de incidencia normal constante de la radiación solar. Permite la cualificación de módulos completos de hasta 20 m de longitud (estructuras, reflectores, receptores y juntas flexibles). Posibilita el seguimiento en dos ejes (plataforma del banco sobre un carril circular) a cualquier ángulo de incidencia de la radiación solar que se desee. Está equipado con instrumentación y sistemas de control de alta precisión para realizar mediciones precisas, rápidas y automatizadas. El módulo del colector también está conectado a una unidad de calefacción y refrigeración en la plataforma.
B2.- REPAs	Ensayos acelerados de ciclo de vida completo de conjuntos de rotación y expansión (REPAs) para sistemas PTC. Este banco de ensayo se divide en dos secciones funcionales: la unidad cinemática (para sujetar y mover las REPAs a ensayar) y la unidad de balance of plant (BOP), destinada a suministrar el fluido térmico (HTF) acondicionado. La unidad BOP consta de una bomba de velocidad variable que hace circular el HTF a través de calentadores eléctricos tipo collar adaptados. La unidad cinemática puede alojar muestras de ensayo (rótulas y mangueras flexibles) con geometrías ajustables y para distintos diseños de PTC.
C) Almacenamiento de Energía Térmica	
C1.- MOSA	Lazo de ensayo de sales fundidas para sistemas de energía térmica. Esta instalación está compuesta por dos unidades: a) un lazo de ensayo exterior, con configuración de dos tanques llenos con 40 toneladas de sal solar fundida, y b) un banco de ensayo interior, denominado BES-II, que puede utilizarse para ensayar pequeños componentes hidráulicos (válvulas, transductores de presión, etc.) en distintas mezclas de sales fundidas. MOSA es la mayor instalación del mundo, una réplica a escala reducida de un sistema comercial de almacenamiento térmico por CSP, de modo que todo lo relativo a este tipo de sistemas puede ensayarse a una escala relevante y extrapolable
C2.- ALTAYR	Depósito de almacenamiento aislado de aproximadamente 0,1 m ³ en el que pueden ensayarse distintas configuraciones y materiales de lecho empaquetado utilizando aire a presión atmosférica como fluido térmico. Dotado de una potencia eléctrica máxima de 15 kW, permite realizar procesos de carga con aire hasta 850 °C. Termopares distribuidos a lo largo de su longitud y en diferentes posiciones radiales proporcionan un mapa preciso de la temperatura del lecho empaquetado.

D) Sistemas de Receptor Central (CRS)

D1.- CESA-1 	<p>CRS de 6 MW térmicos. Campo solar: campo orientado al sur de 330×250 m con 300 heliostatos de $39,6 \text{ m}^2$ distribuidos en 16 filas; torre: 84 m de altura con cuatro niveles para alojar receptores y un gran cuadrado diana para el canteo y ajuste de los heliostatos. Flujo pico típico de $3,3 \text{ MW/m}^2$ con una irradiancia de 950 W/m^2 (el 99 % de la potencia se concentra en un círculo de 4 m de diámetro y el 90 % en uno de 2,8 m). Es una instalación muy flexible para ensayar componentes como heliostatos, receptores solares, almacenamiento térmico, turbinas de gas solarizadas, sistemas de control e instrumentación de medida de radiación solar concentrada de alto flujo. También puede utilizarse para otras aplicaciones que requieren altas concentraciones de fotones sobre superficies relativamente grandes, como procesos químicos o de alta temperatura, tratamiento superficial de materiales o experimentos de astrofísica.</p>
D2.- SSPS-CRS 	<p>Instalación CRS de 2,5 MW térmicos. La parte sur del campo solar está compuesta por 91 heliostatos ($39,3 \text{ m}^2$) y la parte norte cuenta con 20 heliostatos (52 m^2 y 65 m^2), con una reflectividad nominal media del 90 %. El error de seguimiento solar es de 1,2 mrad por eje y la calidad del haz óptico reflejado es de 3 mrad. Con una irradiancia de 950 W/m^2, la potencia total del campo es de 2,5 MW térmicos, con un flujo pico de $2,5 \text{ MW/m}^2$. El 99 % de la potencia se recoge en un círculo de 2,5 m de diámetro y el 90 % en uno de 1,8 m. Torre: estructura metálica de 43 m de altura con 3 plataformas de ensayo (a 26 y 28 m para probar nuevos receptores para aplicaciones termoquímicas) y, en la coronación de la torre, una bancada calorimétrica con grúa para la evaluación de pequeños receptores volumétricos a presión atmosférica.</p>

E) Hornos Solares (SF)

E1.- SF-60 	<p>Compuesto por un heliostato plano de 130 m^2 que refleja el haz solar hacia un concentrador parabólico de 108 m^2, el cual, a su vez, concentra los rayos incidentes en el foco de la parábola. Una persiana de lamas situada entre el heliostato y el concentrador regula la luz entrante. Finalmente, se utiliza una mesa de ensayos móvil en tres ejes para colocar el elemento a ensayar en el foco. El concentrador parabólico es el elemento principal de este horno solar; está formado por facetas curvadas esféricamente, cada una con una curvatura que varía según su distancia al punto focal. Concentra la luz solar incidente procedente del heliostato, multiplicando la energía radiante en el foco. Las características del foco con apertura al 100 % y una irradiancia solar de 1.000 W/m^2 son: flujo pico, 670 W/cm^2; potencia total, 80 kW; y diámetro focal, 22 cm.</p>
E2.- SF-40 	<p>Este horno solar (SF) consta principalmente de un plato parabólico de 8,5 m de diámetro ($56,5 \text{ m}^2$ de superficie parabólica concentradora), con una distancia focal de 4,5 m, acoplado a un heliostato plano con 100 m^2 de superficie reflectante, un atenuador de lamas y una mesa de ensayos con movimiento en tres ejes. La superficie del concentrador está formada por 12 pétalos o sectores curvados de fibra de vidrio, recubiertos en su cara frontal con espejos adhesivos de 0,8 mm. La parábola así formada se sostiene por la parte posterior mediante una estructura espacial anular para dotarla de rigidez y mantenerla vertical. La instalación alcanza una concentración pico de 5.000 soles y una potencia de 40 kW; el tamaño del foco es de 12 cm de diámetro y el ángulo de borde $\alpha = 50,3^\circ$. Su eje óptico es horizontal y es del tipo «on-axis», es decir, el concentrador parabólico, el foco y el heliostato están alineados sobre el eje óptico de la parábola.</p>
E3.- SF-5 	<p>Potencia del SF: 5 kW; alcanza concentraciones superiores a 7.000 soles. Consta de un espejo concentrador de $8,7 \text{ m}^2$, colocado invertido sobre una torre metálica de 18 m de altura y con la superficie reflectante orientada hacia el suelo; en el centro de la base de la torre hay un heliostato plano de 25 m^2 cuyo centro de rotación está alineado con el eje óptico del concentrador. En la parte superior de la torre, a 2 m por debajo del vértice del concentrador, se sitúa una mesa de ensayos. Por último, bajo la mesa de ensayos y a nivel del suelo de la sala de ensayos, se dispone un atenuador de lamas. El diámetro del foco del SF-5 es de 2,5 cm y está destinado principalmente al tratamiento térmico de materiales a alta temperatura, en vacío y en atmósfera controlada. La principal ventaja es que el foco se dispone en un plano horizontal, de modo que las muestras pueden tratarse sobre una superficie horizontal.</p>

F) Discos Parabólicos

F1.- Banco de Ensayos de Envejecimiento



Concentrador DISTAL-I formado por un plato parabólico de 7,5 m de diámetro, 40 kW térmicos y un sistema de seguimiento solar polar de un eje, en el que se retiró el motor Stirling y se sustituyó por distintas plataformas de ensayo para realizar ciclos térmicos acelerados en materiales o en prototipos a pequeña escala de receptores de alta concentración. Mediante ciclos rápidos de enfoque y desenfoque, las muestras situadas en el foco del concentrador soportan un gran número de ciclos térmicos en un corto intervalo de tiempo, lo que permite un envejecimiento acelerado del material. Estas plataformas pueden utilizarse para ensayar materiales, receptores volumétricos refrigerados por aire (metálicos o cerámicos) y prototipos de receptores de pequeño tamaño con o sin fluido térmico (HTF).

G) Materiales

G1.- OPAC



Instalación de caracterización óptica y ensayos de durabilidad de componentes solares. Esta instalación es la mayor del mundo dedicada al estudio integral de los materiales empleados en los componentes ópticos de los sistemas solares térmicos de concentración (reflectores, receptores, cubiertas transparentes, etc.), lo que permite determinar sus parámetros ópticos característicos, su posible deterioro con el tiempo y distintos aspectos de operación y mantenimiento (O&M), como la evaluación del ensuciamiento y su mitigación (incluidas estrategias de limpieza). Consta de varias instalaciones singulares al aire libre para evaluar los posibles mecanismos de degradación que afectan a estos componentes ópticos (incluidos numerosos bancos de ensayo que simulan diferentes condiciones de operación) y de cuatro laboratorios completamente equipados para reproducir dichos mecanismos de degradación en condiciones de envejecimiento acelerado en cámaras climáticas.

H) Instalaciones de Desalación Solar

H1.- MED



Planta piloto basada en destilación multiefecto (MED). Consta de 14 etapas o efectos dispuestos verticalmente en configuración de alimentación directa. La temperatura máxima que alcanza el agua salina dentro de la planta (top brine temperature) es de unos 70 °C, límite fijado para evitar la precipitación de sales y la consiguiente formación de incrustaciones en las superficies de intercambio térmico. La temperatura mínima del último efecto viene determinada por el condensador final, que condensa el último vapor generado en el proceso MED y suele refrigerarse utilizando la misma agua salina que alimenta el proceso. En condiciones de diseño, se requieren alrededor de 200 kW térmicos para producir 3 m³/h de agua desalada, con una tasa de recuperación del 37,5 % (relación entre agua producida y agua de alimentación). El suministro energético procede de un campo solar de captadores planos estáticos o de colectores cilindroparabólicos de pequeña apertura, cuando la MED se opera acoplada a una bomba de calor de absorción de doble efecto (LiBr-H₂O).

H2.- NF-RO-FO



Instalación para combinaciones de ósmosis directa (FO), ósmosis inversa (RO) y nanofiltración (NF). Doce módulos de FO de fibra hueca Aquaporin HFF02, cada uno con 2,3 m² de superficie total de membrana, montados en un bastidor flexible que permite combinarlos en serie o en paralelo; caudal nominal de 3,6 m³/h. Una carcasa a presión de 8" y dos de 4", conectables en serie o en paralelo, cada una capaz de alojar cuatro membranas; caudal nominal de 3 m³/h y presión máxima de 80 bar (RO) / 16 bar (NF). Todas las unidades están totalmente monitorizadas, funcionan con depósitos de agua independientes y ofrecen flexibilidad para su interconexión, incluyendo un pretratamiento por microfiltración (3 m³/h nominal).

H3.- MDTF



Instalaciones de ensayo de desalación por membranas (MD) operadas con distintos campos solares de captadores planos, con almacenamiento térmico y temperatura de suministro de calor controlada. La instalación dispone además de varias enfriadoras para disipar calor y puede trabajar con agua de mar real (300 m³ almacenados de un pozo de playa). Incluye varias plantas piloto de MD con módulos comerciales arrollados en espiral que operan en configuraciones de espacio de permeado (permeate-gap), espacio de aire (air-gap) y espacio de aire asistido por vacío (vacuum-assisted air-gap), así como módulos de placas y marco multiefecto que operan en vacío. En todos los casos es posible la recirculación del caudal de alimentación para la concentración de salmuera. También hay módulos multiefecto innovadores sin membranas (tecnología CEVAP).

I) Tratamiento de Aguas

I1.- SOLWATER



Instalación de ensayo de tratamiento y regeneración de aguas compuesta por: a) fotorreactor PTC de 300 L con sistema de seguimiento solar en dos ejes; b) múltiples fotorreactores piloto de descontaminación y desinfección solar basados en colectores parabólicos compuestos (CPC; diámetros de tubo de 32–75 mm, superficie irradiada de 0,5–15 m² y volumen total de 10 a 300 L), equipados con sistemas de calefacción y refrigeración para control de temperatura, monitorización de pH y oxígeno disuelto, y acoplados a otras tecnologías de tratamiento (electro-oxidación, ozonización, etc.); c) reactor solar de desinfección de 2 m² con distintas geometrías de reflector (tipo CPC y espejo en U), equipado con un captador solar térmico para calentamiento de agua; d) un reactor piloto photocatalítico multietapa de 5 L y dos fotoreactores tipo raceway pond a escala piloto (10–90 L); e) planta piloto de radiación ultravioleta (UV) equipada con un sistema de dosificación de reactivos; f) plantas piloto de micro- y nanomembranas, con control automático de pH; g) planta piloto de oxidación húmeda con aire preparada para operar a 200 bar y una temperatura máxima de 300 °C; h) planta piloto de electro-oxidación (cuatro celdas electroquímicas); i) dos plantas piloto de ozonización acopladas a un CPC; j) reactores piloto biológicos con sistema doble de depuración (sistemas de biomasa fluidizada y reactores discontinuos secuenciales); k) cámara de cultivo de 30 m² utilizada para ensayos de regeneración de aguas residuales (4 áreas individuales con sistemas de calefacción y refrigeración).

I2.- HYWATOX



Instalación solar para la producción de fotocombustibles (H₂ y otros combustibles hidrocarbonados directamente a partir de la luz solar) compuesta por: a) Planta piloto 1, específicamente diseñada para la producción photocatalítica de fotocombustibles y otros fotoproductos. Consta de un tanque de acero inoxidable acoplado a un fotorreactor CPC (2,10 m²). Incluye controladores de caudal másico para la corriente de gas, utilizados tanto para purgar el oxígeno del sistema como para extraer el fotocombustible producido y conducirlo a un MicroGC en línea (evaluación de H₂, CO₂, O₂, etc.); b) Planta piloto 2, también diseñada para la producción photocatalítica de fotocombustibles y para ensayar photocatalizadores de vanguardia. Dispone de un tanque de sedimentación/separación para la recuperación del photocatalizador, controladores de caudal másico y un MicroGC en línea.

J) Caracterización de la Radiación Solar

J1.- METAS



Los instrumentos de la estación METAS proporcionan información sobre la radiación solar y variables atmosféricas más generales que pueden emplearse para la validación de modelos espectrales, así como en el resto de actividades de investigación de la PSA. Algunos datos específicos disponibles son: a) medición del balance radiativo terrestre; b) radiación de onda corta y de onda larga entrante y saliente medida a 30 m; c) caracterización de las componentes de la radiación solar (global, directa y difusa); d) bandas espectrales UV y PAR; e) espectrorradiómetro (200–2500 nm); f) perfil vertical del viento: velocidad y dirección a 2, 10 y 30 m; g) perfil vertical de temperatura y humedad a 2 y 10 m; h) información meteorológica diversa: pluviómetro, barómetro y psicrómetro. Desde 2005, METAS sigue los requisitos de calidad de la Baseline Surface Radiation Network (BSRN).

K) Eficiencia Energética en la Construcción

K1.- LECE



El Laboratorio de Ensayo de Componentes de Edificación (LECE) es una instalación al aire libre dedicada a la investigación del análisis energético de edificios, integrando sistemas solares térmicos pasivos y activos para reducir la demanda de calefacción y refrigeración. Está compuesto por:

- cinco celdas de ensayo, cada una formada por una sala de ensayo con alto aislamiento térmico y una sala auxiliar para la caracterización experimental de las envolventes de edificios;
- celda de ensayo PASLINK que incorpora el concepto de envolvente pseudo-adiabática;
- celda de ensayo CETeB para ensayos de cubiertas;
- chimenea solar;
- edificio de una sola zona para metodologías de evaluación energética en profundidad de edificios experimentales.

K2.- EDIFICIO ARFRISOL	 <p>Prototipo de edificio de oficinas operativo, completamente instrumentado y monitorizado de forma continua, con aproximadamente 1.000 m² de superficie construida. Está diseñado para minimizar el consumo de energía en calefacción y climatización manteniendo niveles óptimos de confort, mediante la incorporación de estrategias pasivas y activas (principalmente solares) de ahorro energético basadas en el diseño arquitectónico y constructivo.</p>
M) Refrigeración	
M1.- WASCOP	 <p>Instalación compuesta por distintos sistemas de refrigeración: un intercambiador de calor refrigerado por aire (200 kW térmicos), una torre de refrigeración húmeda (200 kW térmicos) y un condensador refrigerado por aire (335 kW térmicos). Todos ellos están conectados a un generador de vapor (80 kW térmicos) alimentado por energía solar térmica, que produce vapor saturado (120–300 kg/h) a diferentes temperaturas (42–60 °C), simulando el vapor de escape de una turbina en un ciclo de potencia.</p> <p>Los sistemas de refrigeración pueden evaluarse por separado o en combinación, con dos opciones en este último caso:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. un sistema combinado convencional compuesto por un condensador refrigerado por aire en paralelo con una torre de refrigeración húmeda más un condensador de superficie; 2. un sistema combinado innovador compuesto por un intercambiador de calor refrigerado por aire y una torre de refrigeración húmeda, ambos compartiendo un condensador de superficie. <p>En este último caso, el circuito hidráulico permite evaluar configuraciones en serie y en paralelo, así como distintos porcentajes de caudal en las configuraciones en paralelo.</p>
N) Captadores Planos (FPC)	
N1.- AQUASOL	 <p>Campo de captadores planos estacionarios con 323 kW térmicos de potencia bajo condiciones nominales (59 % de eficiencia para 900 W/m² y 75 °C), 40 m³ de almacenamiento térmico (dos depósitos de agua) y un enfriador de aire. Está dividido en 4 lazos con 14 captadores de gran apertura cada uno (dos hileras conectadas en serie, con 7 captadores conectados en paralelo dentro de cada hilera) y un lazo adicional más pequeño con 4 captadores conectados en paralelo. Los captadores están inclinados 35° con orientación sur y disponen de espejos planos móviles con seguimiento solar para aumentar el área de captación. Está conectado a un intercambiador de calor centralizado y a intercambiadores individuales en cada lazo para acoplar dispositivos consumidores de energía térmica de baja temperatura con fines de ensayo.</p>

La tabla siguiente presenta y describe brevemente los laboratorios que completan las actividades científicas realizadas en las instalaciones de la PSA.

Tabla 2. Listado y breve descripción de los laboratorios que aparecen en la Figura 1.

Nombre del laboratorio	Breve Descripción
L1.- GeoLab	Laboratorio de caracterización geométrica. La caracterización geométrica de los concentradores solares se realiza principalmente mediante fotogrametría (modelado tridimensional de un objeto a partir de fotografías que lo capturan desde distintos ángulos). Esta técnica se utiliza para cuantificar la calidad óptica de los elementos de colectores cilindro-parabólicos (facetos o módulos), heliostatos, lentes y reflectores de Fresnel, platos parabólicos, etc. La precisión del modelado por fotogrametría es de 1:50 000 (del orden de 0,1 mm para las facetos de los colectores cilindro-parabólicos y de 0,6–0,7 mm para los módulos cilindro-parabólicos de 12 m de longitud).
L2.- RadLab	El Laboratorio de radiometría realiza mediciones de alta calidad de magnitudes radiométricas asociadas a la alta concentración solar, como la irradiancia solar (flujo radiante) y la temperatura superficial de materiales irradiados (detección por infrarrojo, IR).

Nombre del laboratorio	Breve Descripción
L3.- SRTLabs	Laboratorio de ensayo y caracterización de tubos receptores para colectores solares de concentración de foco lineal. Consta de dos bancos de ensayo (HEATREC y RESOL). En HEATREC se pueden realizar la evaluación de pérdidas térmicas y el cálculo de la emisividad (entre 100 °C y 450 °C) de una unidad receptora de hasta 4,5 m de longitud y 80 mm (diámetro exterior del tubo absorbedor), mientras que RESOL es un banco de ensayo para la evaluación de la eficiencia óptica (valor combinado de absorbancia y transmitancia) de unidades de tubo receptor (pueden medirse hasta tres unidades en paralelo).
L4.- MaterLab	Laboratorio para la evaluación de la durabilidad y la caracterización de materiales bajo radiación solar concentrada. Consta de cuatro salas (Metalografía, Microscopía, Termogravimetría y Ciclos Térmicos) dedicadas al análisis metalográfico y termogravimétrico y a la caracterización de probetas tratadas con radiación solar concentrada. La sala térmica incluye un horno eléctrico de ciclos térmicos para envejecimiento acelerado a alta temperatura (hasta 1600 °C), varios hornos mufla con distintas temperaturas máximas y un montaje específico para ensayar el desgaste por atrición de partículas receptoras a temperatura de operación.
L5.- WATLAB	El laboratorio de tecnologías del agua cuenta con todo el equipamiento necesario para la evaluación de la calidad química, toxicológica y microbiológica del agua y de las aguas residuales. Se compone de 4 laboratorios: Cromatografía: 2 UPLC/DAD, 2 cromatógrafos iónicos, 2 analizadores de TOC con módulos de nitrógeno y PCR, Microbiología: nivel de bioseguridad II, Microscopía: microscopía óptica, MEB (microscopía electrónica de barrido) y analizador de rayos X (EDX) y Laboratorio general: ensayos biológicos, de toxicidad aguda y crónica, y de fitotoxicidad, además de dos simuladores solares.
L6.- TESLab	El laboratorio de almacenamiento de energía térmica (TESLab) permite estudiar la viabilidad de materiales para almacenamiento tanto de calor sensible como de calor latente, como mezclas de sales fundidas, rellenos sólidos y materiales de cambio de fase. TESLab cuenta con varios hornos con distintas capacidades en cuanto a rango de temperatura y atmósferas, así como con un horno de microondas para estudiar la conversión de electricidad en calor (power-to-heat).
L7.- DesaLab	Laboratorio de apoyo a las actividades de desalación, que incluye análisis básicos de agua, dos instalaciones de destilación por membranas para estudiar el proceso en todas sus configuraciones a pequeña escala (con áreas efectivas de membrana de 250 cm ² y de 77 o 375 cm ² , respectivamente) y un banco de pruebas con dos pequeños módulos de ósmosis directa (FO) (cada uno con 100 cm ² de área efectiva de membrana) que pueden operarse en modo de ósmosis por presión retardada (PRO).

4. LA INVESTIGACIÓN EN LA PSA

Actualmente se encuentran abiertas numerosas líneas de investigación, entre las que destacan:

- Desarrollo de receptores mejorados para aumentar el flujo solar máximo admisible por encima de 1 MW/m², junto con el análisis de viabilidad de nuevos fluidos de transferencia de calor que superen el límite actual de temperatura del fluido (~565 °C).
- Desarrollo y evaluación de helióstatos autocalibrados con un proceso de fabricación más económico, menos costes de operación y mantenimiento y campos de mayor precisión, junto con la implementación de IA.
- Medición de la extinción de la radiación solar y la irradiancia solar concentrada para mejorar la seguridad de la planta y la predicción del rendimiento.
- Optimización y mejora de la fiabilidad de los sistemas de almacenamiento térmico (TES) comerciales actuales.
- Viabilidad de materiales como medios de almacenamiento térmico: materiales de cambio de fase (PCM) para almacenamiento en calor latente y materiales líquidos y sólidos para almacenamiento en calor sensible.
- Desarrollo de nuevos diseños de captador solar de foco lineal y componentes (tubos absorbedores, REPAs, ..) con mayor eficiencia, alta fiabilidad y menor coste.
- Nuevas aplicaciones comerciales para calor de proceso industrial en media temperatura (T<425 °C): uso directo y generación de e-combustibles.

- Desarrollo y estandarización de metodologías adecuadas para la predicción de la vida útil de los materiales.
- Avances en las tecnologías de producción de combustibles solares (producción de H₂, conversión de CO₂) y fotosíntesis artificial mediante procesos fotocatalíticos.
- Tratamiento y regeneración de aguas residuales urbanas e industriales.
- Desalación con reúso y reducción de salmueras (Zero Liquid Discharge Desalination).
- Reducir impacto de las tecnologías termosolares mediante sistemas de refrigeración novedosos y tecnologías eficientes de recuperación de agua.
- Reducción de consumos de agua para producción de hidrógeno.
- Mejorar la eficiencia de las tecnologías mediante técnicas de control avanzadas.

5. A MODO DE RESUMEN

La Plataforma Solar de Almería (PSA), perteneciente al Mapa de Infraestructuras Científicas y Técnicas Singulares (ICTS) del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, es el mayor centro mundial dedicado a la investigación de tecnologías de concentración solar y aplicaciones relacionadas.

Sus objetivos se centran en el desarrollo de tecnologías de energía solar térmica de concentración con el valor añadido de su almacenamiento, además de nuevos procesos y dispositivos que permitan un mejor aprovechamiento de la radiación solar para otras aplicaciones energéticas y para la protección del medio ambiente, con especial atención a la desalinización y al tratamiento de aguas.

Para todo ello la PSA dispone de un conjunto único de infraestructuras e instalaciones de investigación experimental.