

PLATAFORMA SOLAR DE ALMERIA (PSA)



CENTRO EUROPEO DE INVESTIGACIÓN DE
TECNOLOGÍA DE CONCENTRACIÓN TERMOSOLAR

Abril 2019

Tabla de Contenidos

1	Presentación General.....	1
2	Instalaciones e Infraestructura	4
2.1	Sistemas Cilindro Parabólicos.....	4
2.1.1	La planta experimental DISS	4
2.1.2	Lazo de ensayos HTF	5
2.1.3	La instalación del lazo de ensayos de cilindro-parabólicos (PTTL)	7
2.1.4	PROMETEO: Instalación de ensayo para verificar nuevos componentes de fluidos de transferencia de calor para parabólicos grandes.....	8
2.1.5	Instalación cilindro-parabólicaTCP-100 2.3-MWth	9
2.1.6	Lazo de ensayos de fluidos innovadores (gases presurizados) en colectores cilindro-parabólicos.....	10
2.2	Instalaciones asociadas con Sistemas Cilindro-Parabólicos	11
2.2.1	KONTAS: Banco de ensayos giratorio para sistemas cilindro-parabólicos	11
2.2.2	Ensayos de envejecimiento del comportamiento de ensamblajes de rotación y expansión (REPAs) para sistemas cilindroparabólicos	12
2.3	Sistemas de Receptor Central.....	13
2.3.1	Planta CESA-1 de 6 MWth.....	13
2.3.2	La instalación SSPS-CRS de 2.5 MWth.....	14
2.4	Sistemas Parabolicos DISH	16
2.4.1	Banco de ensayos de envejecimiento acelerado y durabilidad de materiales	16
2.4.2	EURODISH.....	17
2.5	Instalación de Hornos Solares.....	17
2.5.1	Horno Solar SF-60	17
2.5.2	Horno Solar SF-40	19
2.5.3	Horno Solar SF-5.....	20
2.6	Sistemas de Almacenamiento	21
2.6.1	Lazo de Ensayos de Sales Fundidas para Sistemas de Energía Térmica	21
2.7	Instalaciones experimentales de Desalación Solar.....	22
2.7.1	Instalaciones de Destilación Multi-Efecto	22
2.7.2	Instalación CSP+D.....	24
2.7.3	Instalaciones de Ensayo de Destilación por Membranas	26
2.8	Instalaciones Experimentales de Detoxificación y Desinfección Solar	29
2.8.1	Plantas solares piloto CPC	30
2.8.2	Simuladores solares	32
2.8.3	Planta piloto de ozonización	33
2.8.4	Planta piloto de nanofiltración	33
2.8.5	Planta piloto UVC-H ₂ O ₂	34
2.8.6	Planta piloto biologica	34

2.8.7	Planta piloto de generación fotocatalítica de hidrógeno	35
2.8.8	Planta piloto de oxidación mediante aire húmedo	35
2.8.9	Equipo de monitorizado UVA solar	35
2.8.10	Cámara de cultivo	36
2.9	Instalaciones Experimentales para la Evaluación de Eficiencia Energética en Edificios	36
3	Laboratorios	39
3.1	Laboratorio para la caracterización geométrica de concentradores solares - GeoLab	39
3.2	Laboratorio de caracterización óptica y análisis de durabilidad de reflectores solares - OPAC	40
3.3	Laboratorio de Radiometria - RadLab	42
3.4	Laboratorio para la evauación de la durabilidad y caracterización de materiales bajo radiación solar concentrada - MaterLab	43
3.4.1	Sala de metalografía	44
3.4.2	Sala de microscopio	44
3.4.3	Sala de termogravimetría	45
3.4.4	Sala de Ciclo Térmico	45
3.5	Ensayos y caracterización de sistemas termosolares de receptores de concentración - SRTLab	46
3.6	Laboratorio de Recubrimientos Opticos Avanzados - OCTALAB	47
3.7	Laboratorio de medios porosos para sistemas de concentración solar - POMELAB	47
3.8	Laboratorio para la evaluación de materiales y componentes para circuitos de sales fundidas - BES	50
3.9	Laboratorio para la evaluación de materiales para sistemas de almacenamiento térmico ATYCOS	51
3.10	Laboratorio para la carecterización de materiales para la producción de combustibles solares	51
3.11	Laboratorio para la cualificación de procesos endotérmicos industriales utilizando tecnologías de concentración solar.	53
3.12	Laboratorio de Tecnologías de Agua PSA - WATLAB	54
3.12.1	Laboratorio general	54
3.12.2	Laboratorio de Cromatografía	55
3.12.3	Laboratorio de microbiología	55
3.12.4	Laboratorio de microscopía	55
3.13	Red radiométrica PSA	55

1 Presentación General

La Plataforma Solar de Almería (PSA), una dependencia del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), es el mayor centro de investigación, desarrollo y ensayos de tecnología solar de concentración en Europa. Las actividades de PSA están integradas en la organización de CIEMAT como una división de I + D del Departamento de Energía.

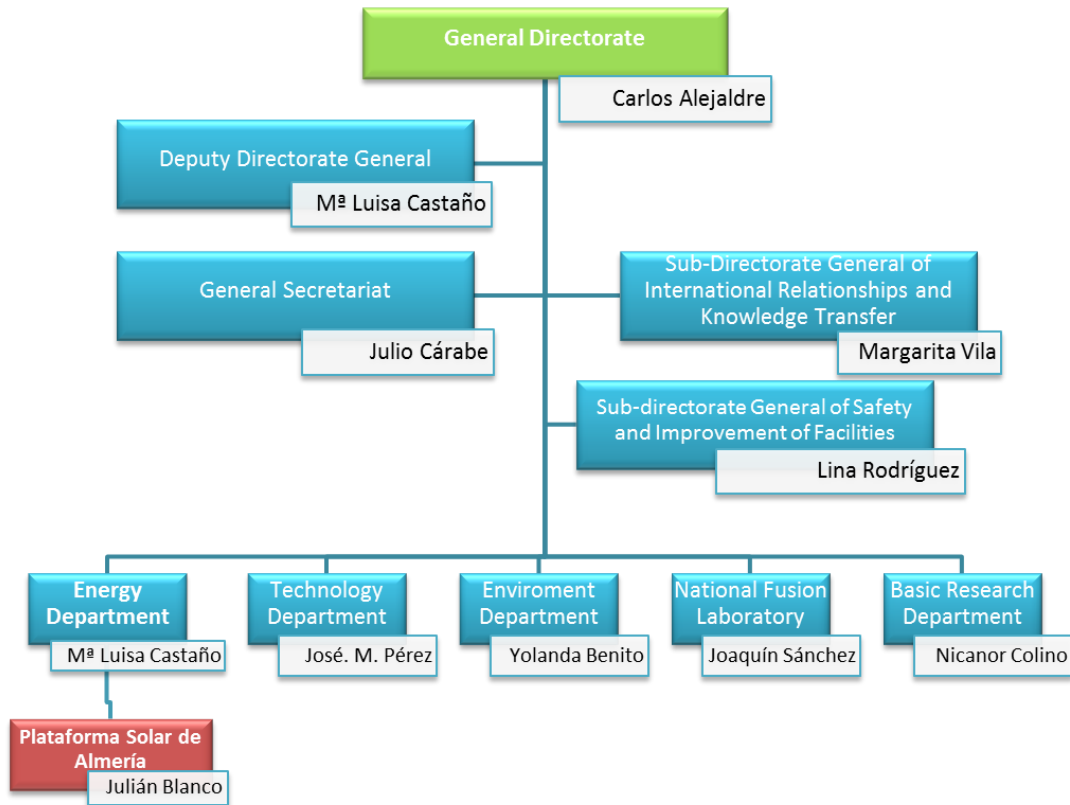


Figura 1. Integración de la PSA en la organización de CIEMAT.

Los siguientes objetivos inspiran sus actividades de investigación:

- Contribuir al establecimiento de un suministro energético mundial limpio y sostenible.
- Contribuir a la conservación de las fuentes de energía europeas y protección de su clima y medioambiente.
- Promover la introducción en el mercado de tecnologías termosolares y las derivadas de procesos químicos solares.
- Contribuir al desarrollo de una industria termosolar española de exportación competitiva.
- Reforzar la cooperación entre las empresas y las instituciones científicas en el campo de la investigación, desarrollo, demostración y comercialización de tecnologías termosolares.
- Fortalecer las innovaciones tecnológicas que reducen los costes y contribuyen a una mayor aceptación del mercado de las tecnologías termosolares.
- Promover la cooperación tecnológica internacional, especialmente en el área mediterránea.
- Asistir a la industria en la identificación de oportunidades de mercado de energía termosolar.



Figura 2. Vista aérea de la *Plataforma Solar de Almería*.

Desde 2018, la actividad de investigación en la Plataforma Solar de Almería se ha estructurado en torno a cuatro Unidades de I + D bajo un Coordinador Técnico, más una unidad sólida para gestionar y coordinar todas las instalaciones y laboratorios, es decir, la Unidad de Gestión de PSA. Además de los diferentes servicios horizontales (servicios de IT, instrumentación, mantenimiento, operación, ingeniería civil, etc.), también se incluyen dos instalaciones adicionales (METAS y LECE), asignadas físicamente dentro de la PSA pero con personal asociado formalmente fuera de su estructura.

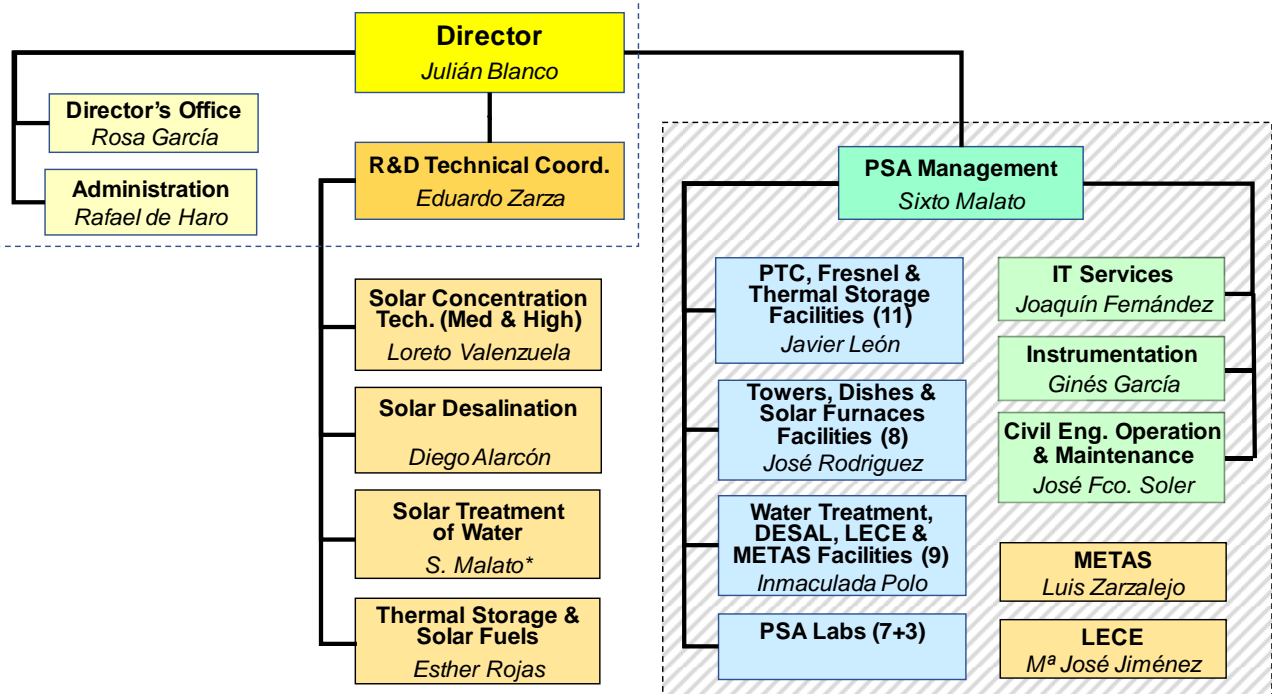


Figura 3. Estructura de organización interna de PSA.

La cuatro Unidades de I+D son las siguientes:

- Sistemas de Concentración Solar. Esta unidad desarrolla y estudia componentes para campos solares, sistemas completos y aplicaciones de tecnologías de energía solar térmica concentrada, para generación de electricidad y procesos industriales de calor.
- Desalinación Solar. Su objetivo es desarrollar desalación solar de agua salobre y agua de mar.
- Tratamiento Solar de Agua. Explorando las posibilidades químicas de la energía solar, especialmente su potencial para la detoxificación y desinfección del agua.
- Almacenamiento Térmico y Combustibles Solares. El objetivo de esta Unidad es aportar soluciones para los sistemas termosolares de concentración para que se conviertan en una tecnología disponible, mediante sistemas de almacenamiento térmico y / o producción de Hidrógeno mediante procesos termoquímicos.

Las Unidades de Dirección y Servicios Técnicos que se mencionan anteriormente apoyan estas Unidades de I + D. Estas unidades son en gran medida autosuficientes en la ejecución de su presupuesto, planificación, objetivos científicos y gestión de recursos técnicos. Sin embargo, las cuatro unidades de I + D comparten muchos recursos, servicios e infraestructuras de PSA, por lo que mantienen una comunicación fluida con las Unidades de Dirección y Servicios, que coordinan los servicios de apoyo técnico y administrativo. Por su parte, la Oficina del Director debe garantizar que las capacidades de apoyo, las infraestructuras y los recursos humanos se distribuyan de manera eficiente. También es la Oficina del Director la que canaliza las demandas a las diversas unidades de apoyo general ubicadas en las oficinas principales del CIEMAT en Madrid.

Los compromisos científicos y técnicos de PSA y la carga de trabajo que esto implica son asumidos por un equipo de 135 personas que a diciembre de 2018 formaban el personal permanente que prestaba sus servicios a la Plataforma Solar de Almería. Además de este personal, existe un flujo significativo de personal en forma de investigadores visitantes, becas y subvenciones gestionadas por la Oficina del Director. De las 128 personas que trabajan diariamente para el PSA, 66 son personal de CIEMAT, 11 de las cuales se encuentran en las oficinas principales de Madrid. Además, las 8 personas que forman la delegación permanente de DLR como consecuencia de sus compromisos actuales con el acuerdo hispano-alemán también hacen una contribución importante.

El resto del personal está formado por un grupo no menos importante dadas las características del centro. Este es el personal que trabaja para las contrataciones de servicio en operación, mantenimiento y limpieza en las diferentes instalaciones. De estas 32 personas, 15 trabajan en operación, 13 en mantenimiento y 4 en limpieza. El contrato de servicios auxiliares está compuesto por 5 administrativos y secretarías, 7 técnicos de TI para servicios a usuarios y otras 5 personas del contrato de seguridad, lo que hace un total de 17 personas. Se debe enfatizar el esfuerzo que CIEMAT ha realizado durante los últimos años para proporcionar a PSA los recursos humanos necesarios. Este esfuerzo continuo nos permite emprender nuestra tarea con mayor seguridad de éxito.



Figura 4. Distribución del personal fijo de PSA en Diciembre 2018 Distribution of permanent personnel at the PSA as of December 2018

El presupuesto de gastos de PSA tiene una tendencia al alza, en gran parte debido a los mayores ingresos, tanto de la financiación de proyectos de la Comisión Europea como del Plan nacional de I + D + i, aunque el factor más importante fue el aumento de los ingresos de la investigación contratada por las empresas privadas.

2 Instalaciones e Infraestructura

2.1 Sistemas Cilindro Parabólicos

2.1.1 La planta experimental DISS

Esta instalación de ensayos fue construida y puesta en funcionamiento en 1998 para experimentar con la generación directa de vapor a alta presión y alta temperatura (100 bar / 400 ° C) en tubos absorbentes de colectores cilindro-parabólicos. Fue la primera instalación construida en el mundo donde los procesos bifásicos de flujo de agua / vapor en colectores cilindroparabólicos podían estudiarse en condiciones solares reales.

La instalación (ver Figura 5 y Figura 6) consta de dos subsistemas, el campo solar de colectores cilindroparabólicos y el bloque de potencia (BOP). En el campo solar, el agua de alimentación se precalienta, evapora y convierte en vapor sobrecalentado a una presión máxima de 100 bar y una temperatura máxima de 400 ° C a medida que circula a través de los tubos absorbentes de una fila de colectores cilindroparabólicos de 700 m de longitud con una superficie total de captación solar de 3.838 m². El sistema puede producir un caudal nominal de vapor sobrecalentado de 1 kg/s. En el resto de la planta, este vapor sobrecalentado se condensa, procesa y reutiliza como agua de alimentación para el campo solar (operación de circuito cerrado).

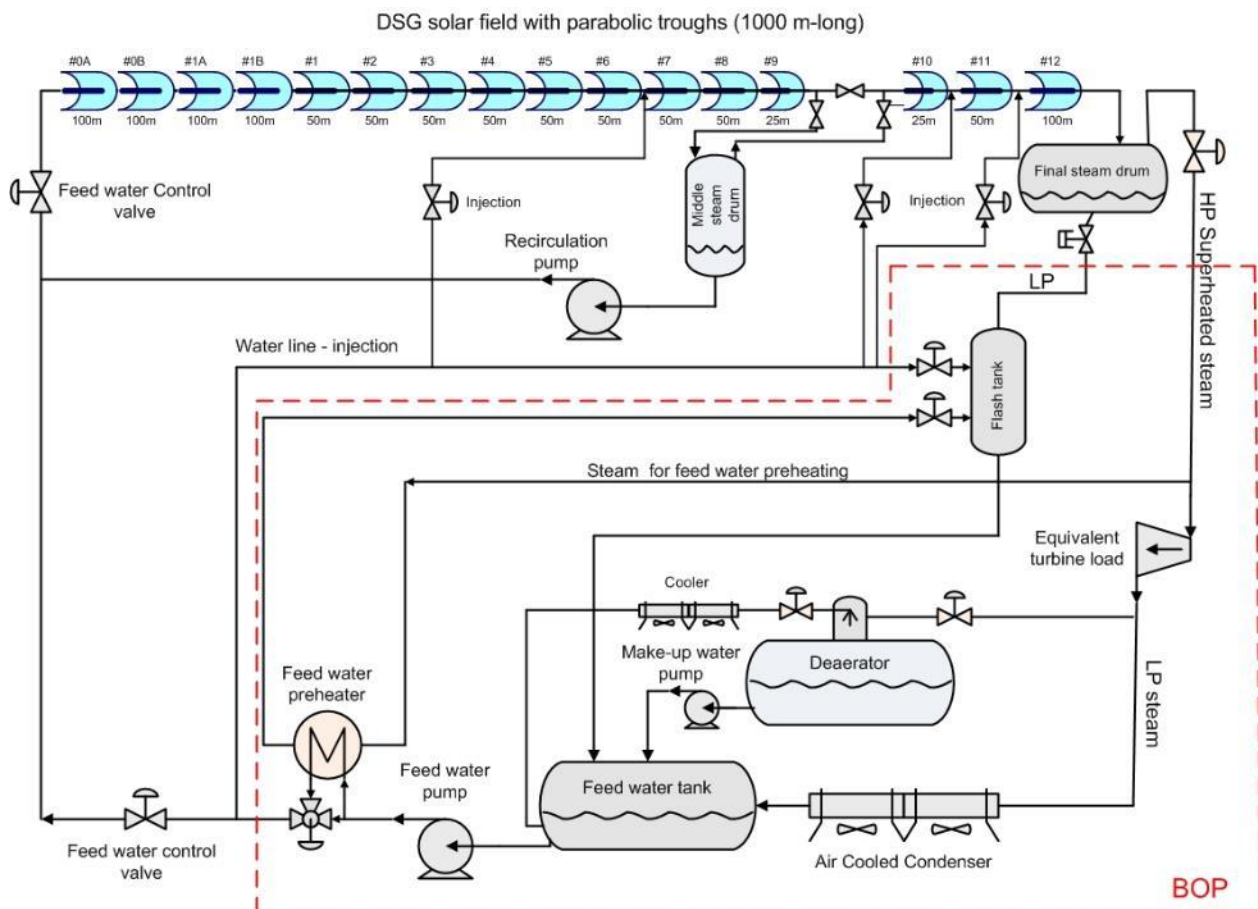


Figura 5. Diagrama de flujo simplificado del lazo PSA DISS.

En 2012, dentro del Proyecto DUKE, se instalaron tres colectores cilindroparábólicos adicionales en el campo solar y se reemplazaron todos los tubos absorbedores por otros nuevos, para aumentar hasta 500 ° C la temperatura del vapor sobrecalentado producido, lo que permite generar directamente vapor a 100bar y 500 ° C.

La operación de la instalación es altamente flexible y puede trabajar desde presiones muy bajas hasta 100 bar. También está equipado con un conjunto completo de válvulas que permiten configurar el campo solar para recirculación (zonas de evaporación y sobrecalentamiento perfectamente diferenciadas), para un solo paso (el separador intermedio de agua-vapor y la bomba de recirculación ubicada en el campo solar no se utilizan en este modo de funcionamiento) y en modo de inyección (el agua de alimentación se inyecta en diferentes puntos a lo largo de la fila del colector).

La instalación cuenta con una amplia gama de instrumentación para el monitorizado completo del sistema (caudales y temperaturas de los fluidos en las diversas zonas del campo solar, caídas de presión en colectores y tuberías, y gradientes térmicos en las secciones transversales de los tubos absorbedores, etc.) y un sistema de adquisición de datos y control del proceso que tiene una base de datos donde se registran datos cada 5 s las 24 horas del día.

Entre las capacidades asociadas a esta instalación están las siguientes:

- Pruebas de componentes para campos solares de colectores cilindroparábólicos con generación directa de vapor (DSG) en sus tubos receptores (receptores, juntas esféricas o agujeros flexibles, separadores de vapor de agua, instrumentación específica, etc.)
- Estudio y desarrollo de esquemas de control para campos solares con GDV.
- Estudio y optimización de los procedimientos de operación que deben implantarse en este tipo de campos solares.
- Estudio termohidráulico bifásico de agua/vapor en tubos horizontales con flujo de calor no homogéneo.



Figura 6. Vista del campo solar en operación de la planta DISS

2.1.2 Lazo de ensayos HTF

El lazo de ensayos HTF se construyó en 1997 y es una instalación ideal para evaluar los componentes del colector cilindroparábólico en condiciones reales de operación con energía solar. La instalación está debidamente equipada para cualificar y monitorizar los siguientes componentes:

- Nuevos diseños de colectores cilindro-parabólicos (hasta 75 m largo)
- Espejos de colectores cilindro-parabólicos
- Tubos absorbedores de colectores cilindro-parabólicos
- Nuevos diseños de juntas rotativas o mangueras flexibles para conectar colectores cilindro-parabólicos en los campos solares.
- Sistemas de seguimiento solar.

La instalación consiste en un circuito cerrado de aceite térmico conectado a varios colectores solares de 75 m de longitud conectados en paralelo (se pueden instalar hasta tres colectores en paralelo), pudiendo operar solo uno a la vez (ver diagrama simplificado de la instalación en la Figura 7). El eje de rotación este-oeste de los colectores solares aumenta el número de horas por año en que el ángulo de incidencia de la radiación solar es inferior a 5° . El aceite térmico utilizado en esta instalación (Syltherm 800®) tiene una temperatura máxima de trabajo de 420°C y un punto de congelación de -40°C .

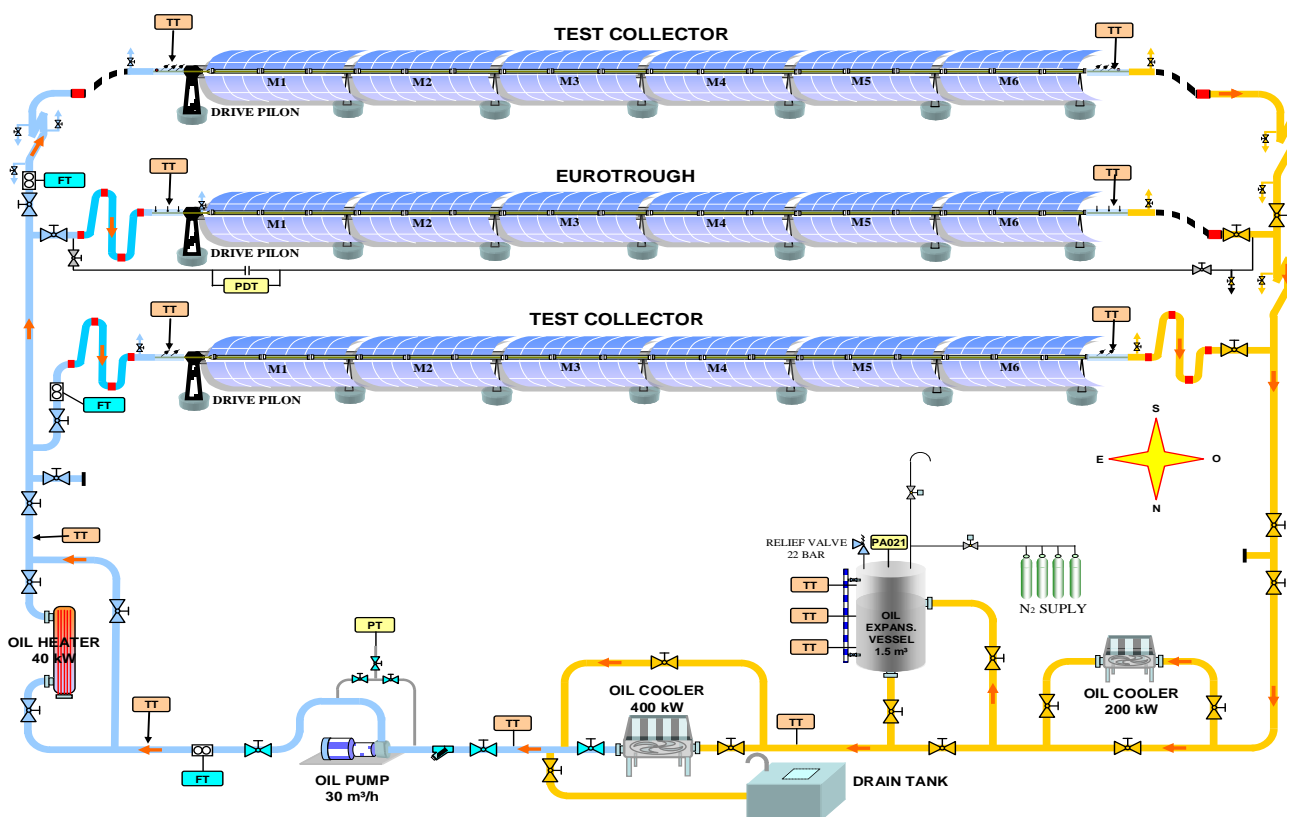


Figura 7. Diagrama del lazo de ensayos "HTF" de PSA.

El circuito de aceite de la instalación, que tiene una presión máxima de trabajo de 18 bar, está compuesto por los siguientes elementos:

- Tanque de expansión de aceite de 1 m³ de capacidad, con inertización automática de nitrógeno.
- Tanque sumidero del circuito de aceite.
- Enfriador de aceite de tiro mecánico, con control de velocidad del aire y enfriamiento máximo de 400 kW.
- Bomba centrífuga de aceite, con un caudal de hasta 8,3 litros por segundo.
- Dos calentadores de aceite eléctricos de 40 kW.

El primer prototipo de colector EUROtrough desarrollado por un consorcio europeo con la ayuda financiera de la Comisión Europea se instaló y evaluó en condiciones reales de trabajo en esta instalación en 1998 y ahora este colector se utiliza para evaluar y calificar nuevos diseños de tubos receptores, reflectores y otros componentes para colectores cilindroparábólicos.

Las actividades principales en el lazo de ensayos HTF están relacionadas con el estudio del rendimiento óptico y térmico de colectores cilindroparábólicos completos (eficiencia óptica, coeficiente IAM y eficiencia global / pérdidas de calor) y tubos receptores.

2.1.3 La instalación del lazo de ensayos de cilindro-parabólicos (PTTL)

Esta gran instalación de ensayo se implementa en una parcela de 420mx180m del PSA y se compone de dos campos solares:

- el campo Norte está diseñado para instalarse con una orientación E-O completa de colectores cilindroparábólicos con una longitud máxima de 180 m la unidad. Se pueden instalar hasta cuatro colectores completos en paralelo.
- el campo Sur está diseñado para instalar lazos completos de colectores cilindroparábólicos (PTC), es decir, varios colectores conectados en serie, con una longitud máxima de 640 m y orientados Norte-Sur. Se pueden instalar hasta cuatro lazos completos en paralelo.

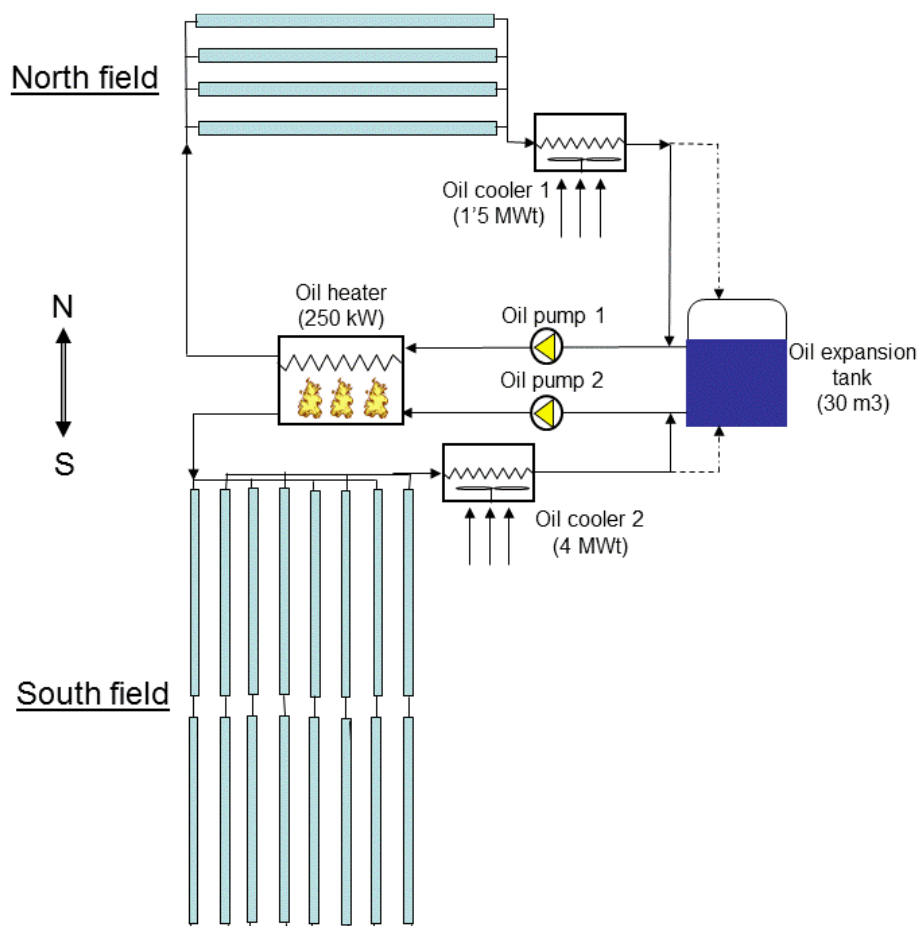


Figura 8. Esquema simplificado de la instalación PTTL

Cada campo cuenta con un circuito de aceite completo instalado en una plataforma de hormigón de 30mx30m entre los dos campos, y ambos circuitos comparten: un tanque de expansión de aceite con

una capacidad de 30 m³, un calentador de aceite a gas con una potencia térmica de 250 kW, una estación meteorológica equipada con radiación solar, temperatura ambiente y sensores de viento, y el sistema de adquisición de datos (DAS). Además, a estos elementos comunes, el circuito de petróleo asociado a los campos Norte y Sur se compone de:

- Campo norte: una bomba de aceite (75 m³ / h) provista de control de velocidad, un enfriador de aceite refrigerado por aire (1.5 MWt) capaz de enfriar el aceite a 70 ° C cuando la temperatura del aire ambiente es de 40 ° C, tuberías de aceite conectan el circuito a los elementos comunes (es decir, tanque de expansión y calentador de aceite).
- Campo sur: una bomba de aceite (125 m³ / h) provista de control de velocidad, un enfriador de aceite refrigerado por aire (4 MWt), tubería de aceite que conecta el circuito a los elementos comunes (es decir, tanque de expansión y calentador de aceite).

Cada circuito de aceite también cuenta con un tanque de drenaje de aceite lo suficientemente grande como para recibir todo el aceite existente en el circuito, un conjunto completo de instrumentación para monitorizar: flujo másico de aceite, presiones y temperaturas, así como válvulas de control para regular el flujo de aceite a valores deseados según las pruebas.

Esta instalación de ensayo de tamaño real al aire libre ofrece las siguientes posibilidades:

- Calificación de prototipos PTC completos que evalúan su eficiencia óptica máxima, modificador de ángulo de incidencia y pérdidas térmicas.
- evaluación de la durabilidad y fiabilidad de los espejos PTC, tubos receptores, juntas rotativas, mangueras flexibles, sistemas de seguimiento solar y todos los elementos instalados en filas completas de colectores,
- Evaluación de algoritmos de control de campo solar PTC,

2.1.4 PROMETEO: Instalación de ensayo para verificar nuevos componentes de fluidos de transferencia de calor para parabólicos grandes

Un circuito cerrado experimental está instalado en el área noreste de la Plataforma Solar de Almería. Fue diseñado y construido por la empresa Iberdrola Ingeniería y Sistemas en 2010, comenzando la campaña de ensayos a lo largo del año siguiente. La planta piloto fue transferida a CIEMAT-PSA para ser utilizada como lazo de ensayos.

El lazo de ensayos orientado este-oeste permite la calificación de todos los componentes del colector y colectores completos de una longitud de hasta 150 m, es decir, estructuras, reflectores, receptores de 70 a 90 mm y juntas móviles. Permite el seguimiento solar que cubre todos los ángulos de incidencia de radiación solar en un día gracias a su orientación. Está equipado con instrumentación y controles de alta precisión para mediciones precisas, rápidas y automatizadas. Actualmente hay dos parabólicos de 100 m de largo y con una abertura de 7,5 m cada uno instalados en la planta piloto.



Figura 9. Vista de la instalación de ensayos PROMETEO.

Los módulos colectores se conectan al bloque de potencia (BOP) en configuración paralela o en serie utilizando la válvula de ajuste ad hoc. Una bomba circula el fluido de transferencia de calor de silicona (SHTF) con un flujo de masa similar al de las centrales eléctricas comerciales. El flujo másico se mide directamente usando los tipos de medidor de flujo de presión diferencial y Vortex. Un enfriador de aire controlado disipa la energía recolectada y asegura una temperatura HTF constante ($\pm 1K$) en la entrada del colector. Los sensores para medir las temperaturas de entrada y salida son muy precisos y pueden calibrarse in situ. Una estación meteorológica proporciona datos precisos de radiación y viento..

2.1.5 Instalación cilindro-parabólica TCP-100 2.3-MWth

Esta instalación de ensayos se implementó en 2014 y está compuesta por el campo solar TCP-100 y un tanque de almacenamiento termoclino con 115 m³ de aceite Santotherm-55.

El campo solar PTC-100 está compuesto por seis colectores cilindroparabólicos, modelo TERMOPOWER, instalados en tres lazos paralelos, con dos colectores en serie dentro de cada lazo. Cada colector está compuesto por ocho módulos de cilindro parabólicos con una longitud total de 100 m y un ancho de parábola de 5,77 m. La superficie total de captación solar de cada colector es de 545 m². La distancia focal es 1.71 n, el factor de intercepción geométrica es ≥ 0.95 , y el rendimiento óptico máximo es 77.5%. Los tubos receptores utilizados en este campo solar fueron suministrados por Archimede Solar Energy (Italia) y el fluido de trabajo es Syltherm®800.

El campo solar está conectado a un tanque de expansión de aceite de 10 m³ para una temperatura máxima de 400 ° C. La energía térmica se puede transferir desde el circuito primario del campo solar a un tanque de almacenamiento de aceite termoclínico con un volumen total de 176 m³ y 115 m³ de aceite Santotherm 55 con una temperatura máxima de trabajo de 300 ° C.

Esta instalación de ensayos está especialmente diseñada para realizar estudios relacionados con sistemas de control para campos solares cilindro-parabólicos. Esta es la razón por la cual hay dos lazos de colectores con el sistema de seguimiento solar desarrollado por PSA, mientras que el tercer lazo está provisto con un sistema comercial de seguimiento solar con movimiento continuo.

2.1.6 Lazo de ensayos de fluidos innovadores (gases presurizados) en colectores cilindroparábolicos.

El objetivo de esta instalación experimental es estudiar el uso de gases presurizados como fluido de transferencia de calor en colectores cilindroparábolicos, evaluando su comportamiento bajo diversas condiciones reales de operación.

El lazo de ensayos experimental (ver Figura 10) se encuentra al norte del edificio de control de la planta experimental DISS, que alberga el equipo necesario para su control y adquisición de datos.



Figura10. Vista de la instalación experimental IFL (con cilindroparábolicos) utilizando gas comprimido como fluido de transferencia de calor.

La instalación de IFL fue diseñada originalmente para trabajar a presiones y temperaturas de hasta 100 bar y 400 ° C, y consta de los siguientes componentes:

- Dos colectores cilindroparábolicos EUROtrough orientados Este-Oeste, cada uno de 50 m de largo con una superficie de colector de 274,2 m². Los colectores están conectados en serie.
- Un enfriador de aire de 400 kW capaz de disipar la energía térmica en el fluido suministrado por los colectores. Cuenta con dos ventiladores motorizados de 4 kW.
- Un ventilador impulsado por un motor de 15 kW que suministra el caudal de gas necesario para enfriar adecuadamente los tubos del receptor.
- Un sistema de adquisición y control de datos que permite monitorizar completamente la temperatura, el caudal, la presión, la radiación solar del haz y la humedad en el sistema.
- Válvulas de control automático que permiten una variación precisa y segura en el caudal de alimentación del fluido del colector.
- Un circuito auxiliar para llenar el circuito de prueba principal con el gas utilizado como fluido de transferencia de calor.

Dado que las pruebas a 400 ° C se completaron con éxito a fines de 2009, esta instalación se actualizó para alcanzar temperaturas de hasta 515 ° C y se conectó a un sistema de almacenamiento térmico de sales fundidas de dos tanques para probar su capacidad conjunta para recolectado y almacenamiento de energía solar térmica con el fin de utilizarla en ciclos térmicos de alto rendimiento. Este aumento en las condiciones de diseño del lazo de ensayos a 100 bar y 515 ° C hizo necesaria la implementación de diferentes mejoras (los tubos absorbedores convencionales en uno de los dos colectores fueron reemplazados por tubos avanzados de alta temperatura, se instalaron tubos de acero inoxidable para la zona de alta temperatura y se hicieron cambios en el sistema de control).

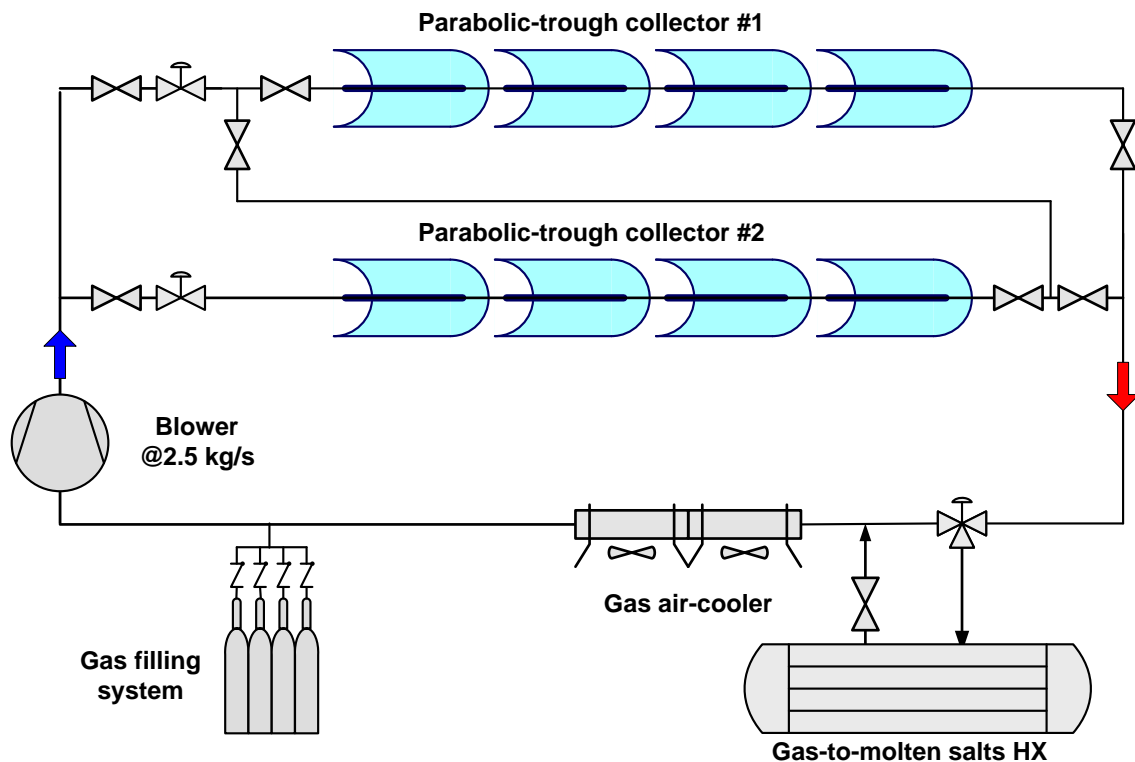


Figura 11. Diagrama simplificado del sistema de la instalación experimental IFL situado en PSA.

2.2 Instalaciones asociadas con Sistemas Cilindro-Parabólicos

2.2.1 KONTAS: Banco de ensayos giratorio para sistemas cilindro-parabólicos

En 2009 se construyó en PSA un banco de pruebas giratorio para componentes colectores cilindroparabólicos, KONTAS. El concepto fue desarrollado por DLR en el marco del acuerdo hispano-alemán entre CIEMAT y DLR, esta instalación de prueba ahora es utilizada conjuntamente por ambos institutos.

El banco de pruebas permite la calificación de todos los componentes del colector y módulos completos de una longitud de hasta 20 m, es decir, estructuras, reflectores, receptores y juntas flexibles. Permite un seguimiento de la radiación solar incidente en cualquier ángulo deseado. Está equipado con instrumentación y controles de alta precisión para mediciones precisas, rápidas y automatizadas.

El banco de ensayos descansa sobre rieleles montados directamente sobre la base. Estos rieleles forman un anillo interno y otro externo. El colector en sí está montado sobre una plataforma de acero con seis ruedas de acero. La rotación de la plataforma en los rieleles alrededor del rodamiento central se realiza mediante motores que impulsan cuatro de estas ruedas.

El módulo colector está conectado a una unidad de calefacción y refrigeración, que también se encuentra en la plataforma. Una bomba hace circular el aceite térmico Syltherm 800® como fluido de transferencia de calor (HTF) con un flujo másico similar al de las plantas comerciales. El flujo de masa

se mide directamente utilizando el principio de medición de Coriolis evitando incertidumbres de la densidad. La unidad de calefacción y refrigeración disipa la energía que el HTF caliente recogió en el camino a través del módulo y garantiza una temperatura de HTF constante ($\pm 1\text{K}$) en la entrada del colector. Los sensores para medir las temperaturas de entrada y salida son muy precisos y pueden calibrarse in situ. Una estación meteorológica de alta precisión proporciona datos precisos de radiación y viento.



Figura 12. Vista lateral del banco de ensayos KONTAS y la unidad de calefacción refrigeración.

2.2.2 Ensayos de envejecimiento del comportamiento de ensamblajes de rotación y expansión (REPAs) para sistemas cilindroparábólicos

La instalación de prueba REPA es el resultado de fusionar las actividades de CIEMAT en la Tarea 14.4 del proyecto europeo SFERA-II (terminado en 2017) y las actividades de DLR dentro del proyecto nacional alemán StaMeP. La instalación ahora es utilizada por CIEMAT-PSA y DLR en el marco de una colaboración conjunta.

El banco de pruebas se divide en dos secciones funcionales, la llamada unidad cinemática, para sostener y mover las piezas REPA que se probarán, y el resto de la unidad de la planta para suministrar el fluido de transferencia de calor acondicionado (ver Figura 13, a).

El bloque de potencia de la planta está compuesto por una bomba HTF de velocidad variable que circula el HTF a través de una tubería con un tipo de collar calefactor eléctrico adaptado antes de pasar por REPA para ser probado, colocado en la unidad cinemática. La línea de retorno va directamente al lado de succión de la bomba que cierra el circuito. El sistema está conectado a un tanque de expansión capaz de compensar la diferencia de volumen causada por la variación de densidad del fluido de trabajo cuando cambia su temperatura.

La unidad de cinemática (ver Figura 13, b) está preparada para acomodar muestras de juntas rotativas y mangueras flexibles con geometrías variables y ajustables, p. longitudes focales. Está preparada para realizar movimientos de rotación y traslación con las siguientes características:

- Unidad de accionamiento: estructura de la unidad de accionamiento EuroTrough modificada
- Angulo de rotación a 205° y posición de parada a 25° hacia abajo
- Hasta 45° de movimiento lateral, representando la expansión térmica del tubo absorbedor
- Preparada para las dimensiones de los nuevos diseños de PTC (distancia focal desde 1m a 2.3m)
- Medida de las fuerzas de reacción y torsión de los ensamblajes a ensayar

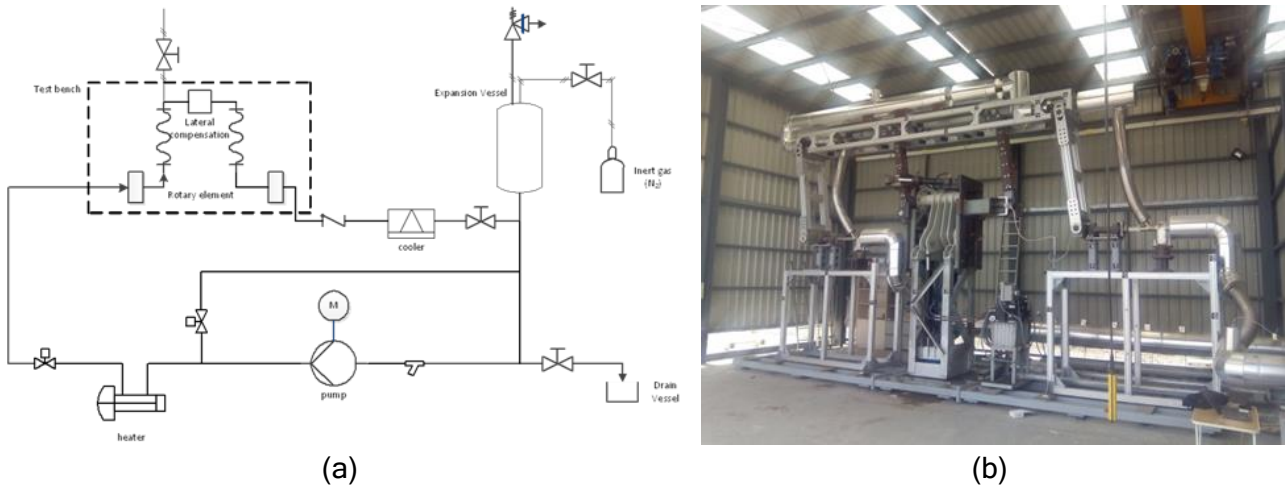


Figura 13. Diagrama esquemático del lazo de ensayo REPA de PSA (a) y vista norte de la instalación de ensayo (b).

2.3 Sistemas de Receptor Central

La PSA tiene dos instalaciones excepcionales para ensayos y validación de componentes y aplicaciones de tecnología de receptor central. Las instalaciones SSPS-CRS y CESA-1 permiten llevar a cabo proyectos y validar tecnologías en el rango de cientos de kilovatios. Son instalaciones al aire libre especialmente acondicionadas para escalar y calificar sistemas antes de la demostración comercial.

2.3.1 Planta CESA-1 de 6 MWth

La planta CESA-1 (ver Figura 14) se inauguró en mayo de 1983 para demostrar la viabilidad de las plantas solares receptoras centrales y permitir el desarrollo de la tecnología necesaria. En la actualidad, la planta CESA-1 es una instalación muy flexible operada para probar subsistemas y componentes tales como heliostatos, receptores solares, almacenamiento térmico, turbinas de gas solarizadas, sistemas de control e instrumentos de medición de radiación solar concentrada de alto flujo. También se usa para otras aplicaciones que requieren altas concentraciones de fotones en superficies relativamente grandes, como en procesos químicos o de alta temperatura, tratamiento superficial de materiales o experimentos de astrofísica. La radiación solar directa es recolectada por el campo de 330 x 250 m con orientación sur de 300 heliostatos de 39,6 m² distribuidos en 16 filas. Los heliostatos tienen un valor de reflectancia medio nominal de 0,91, el error de seguimiento solar en cada eje es de 1,2 mrad y la calidad de la imagen del haz reflejado es de 3 mrad. La instalación CESA-1 tiene la experiencia más extensa en heliostatos de vidrio y metal en el mundo, con unidades de primera generación fabricadas por SENER y CASA, así como unidades de segunda generación

con facetas reflectantes fabricadas por ASINEL y facetas y prototipos de tercera generación desarrollados por CIEMAT y SOLUCAR. A pesar de tener más de 20 años, el campo de heliostatos está en buenas condiciones de funcionamiento debido a un programa estratégico de reemplazo continuo de facetas espejo y mantenimiento y reemplazo del mecanismo de accionamiento.



Figura 14. Instalación CESA-I vista desde el norte.

Al norte del campo solar CESA-1 hay dos áreas adicionales utilizadas como plataformas de prueba para nuevos prototipos de heliostatos, uno ubicado a 380 m de la torre y el otro a 500 m de la torre.

La potencia térmica máxima entregada por el campo en la apertura del receptor es de 6 MWth con una irradiancia de diseño típica de 950 W / m^2 , logrando un flujo máximo de $3,3 \text{ MW / m}^2$. El 99% de la potencia se concentra en un círculo de 4 m de diámetro y el 90% en un círculo de 2,8 m.

2.3.2 La instalación SSPS-CRS de 2.5 MWth

La planta SSPS-CRS fue inaugurada como parte del proyecto SSPS (Small Solar Power Systems) de la Agencia Internacional de Energía en septiembre de 1981. Originalmente concebida para demostrar la generación continua de electricidad, inicialmente utilizó un receptor refrigerado por sodio líquido que también actuaba como medio de almacenamiento térmico. En la actualidad, esta instalación de ensayo se dedica principalmente a probar pequeños receptores solares en el rango de 200 a 500 kWth.

El campo de heliostatos está compuesto por 91 unidades de 39.3 m^2 de primera generación fabricadas por Martin-Marietta. Un segundo campo al norte tiene 20 heliostatos de segunda generación de 52 m^2 y 65 m^2 fabricados por MBB y ASINEL.



Figura 15. Vista aerea de la instalación experimental SSPS-CRS.

El campo de heliostato SSPS-CRS original se mejoró hace varios años con la conversión de todos sus heliostatos en unidades completamente autónomas alimentadas por energía fotovoltaica, con control centralizado comunicado por radio utilizando un concepto desarrollado y patentado por investigadores de PSA. Este primer campo de heliostatos autónomo, que no requiere el uso de canales o cableado, fue posible gracias a la asistencia financiera del programa PROFIT del Ministerio de Ciencia y Tecnología de España.

El valor nominal promedio de reflectividad del campo es en realidad 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. En condiciones típicas de 950 W / m^2 , la capacidad total del campo es de 2.5 MWth y su flujo máximo es de 2.5 MW / m^2 . El 99% de la potencia se recoge en una circunferencia de 2,5 m de diámetro y el 90% en una circunferencia de 1,8 m. La torre de metal de 43 m de altura tiene tres plataformas de ensayo. Los dos primeros están ubicados a 28 y 26 m y están preparados para probar nuevos receptores para aplicaciones termoquímicas. La tercera plataforma de ensayo está en la parte superior de la torre a 43 m, y alberga una habitación cerrada con grúa y banco de pruebas calorimétricas para la evaluación de pequeños receptores volumétricos de presión atmosférica y reactores solares para la producción de hidrógeno. La infraestructura de la torre se completa con una grúa con capacidad para 4 TN y un elevador en rack de 1000 kg.

La torre SSPS-CRS está equipada con una gran cantidad de dispositivos auxiliares que permiten la ejecución de una amplia gama de pruebas en el campo de la química termosolar. Todos los niveles de ensayo tienen acceso a aire presurizado ($29 \text{ dm}^3 / \text{s}$, 8bar), nitrógeno puro suministrado por una planta criogénica, donde el N_2 líquido se almacena en un tanque de líquido con una capacidad de 6 TN (Fig. 10). Esta instalación es eficiente y segura de operar y es extremadamente versátil para proporcionar todas las variantes posibles. La planta propuesta podrá proporcionar velocidades de flujo de 70 kg / hora a 250 kg / hora con autonomía de varios días o incluso semanas. También hay generadores de vapor con capacidad de 20 y 60 kg / h de vapor, agua de enfriamiento con una capacidad de hasta 700 kW, agua desmineralizada (ASTM tipo 2) de un tanque de almacenamiento de 8 m^3 para usar en generadores de vapor o directamente en el proceso, y la infraestructura de red de datos que consiste en cable Ethernet y fibra óptica. En la torre SSPS-CRS hay un sistema híbrido de medición de flujo de calor para medir la energía solar incidente que se concentra en el campo de heliostatos. Este método comprende dos sistemas de medición, uno directo y otro indirecto. El sistema de medición directa consta de varios sensores de flujo de calor con un diámetro frontal de 6.32 mm y un tiempo de respuesta en microsegundos. Estos microsensores se colocan en una barra móvil, que se monta frente a la ventana del reactor. El sistema de medición indirecta funciona

ópticamente con una cámara CCD calibrada que utiliza un sensor de flujo de calor refrigerado por agua como referencia para convertir los niveles de escala de grises en valores de flujo de calor.

2.4 Sistemas Parabólicos DISH

2.4.1 Banco de ensayos de envejecimiento acelerado y durabilidad de materiales

Esta instalación consta de 4 unidades de disco parabólico, 3 tipo DISTAL-II con 50 kW de potencia térmica total y sistema de seguimiento solar de dos ejes, y 1 tipo DISTAL-I con 40 kW de potencia térmica total y sistema de seguimiento solar polar de un eje. En los 4 discos, los motores Stirling iniciales han sido reemplazados por diferentes plataformas de prueba para colocar los materiales o prototipos a pequeña escala de receptores de alta concentración y realizar ciclos de temperatura acelerados. Con ciclos de enfoque y desenfoque rápidos, las sondas colocadas en el foco del concentrador soportan una gran cantidad de ciclos térmicos en un corto intervalo de tiempo, lo que permite un envejecimiento acelerado del material. Estas plataformas se pueden utilizar para una gran variedad de aplicaciones: ensayos de materiales, ensayos de receptores volumétricos enfriados por aire (metal o cerámica), ensayos de prototipos de receptores de pequeño tamaño con o sin fluido de transferencia de calor, etc.

El concentrador DISTAL-I (Figura 17) es un disco parabólico de 7,5 m de diámetro, capaz de recolectar hasta 40 kWth de energía, que se aplica a las sondas para obtener el envejecimiento acelerado. El concentrador está hecho de una membrana estirada, que mantiene la forma parabólica con una pequeña bomba de vacío. Tiene 94% de reflectividad y puede concentrar la luz solar hasta 12,000 veces en su foco de 12 cm de diámetro. Tiene una distancia focal de 4,5 metros y seguimiento solar polar. Los tres discos parabólicos DISTAL-II (Figura 18) se levantaron en PSA en 1996 y 1997, utilizando la tecnología de membrana estirada. Estos discos parabólicos tienen un diámetro ligeramente mayor que el DISTAL-1 descrito anteriormente (8,5 m) y la energía térmica suministrada en el foco es de 50 kWth. La distancia focal es de 4,1 m y la concentración máxima es de 16000 soles en el foco. Estos concentradores se pueden usar para cualquier experimento que requiera un enfoque con las características mencionadas anteriormente (50 kWth máximo y 16,000 soles de concentración máxima en el foco). El seguimiento consiste en un sistema de elevación de azimut de dos ejes.



Figura 16. Heliostato autónomo en el campo CRS.

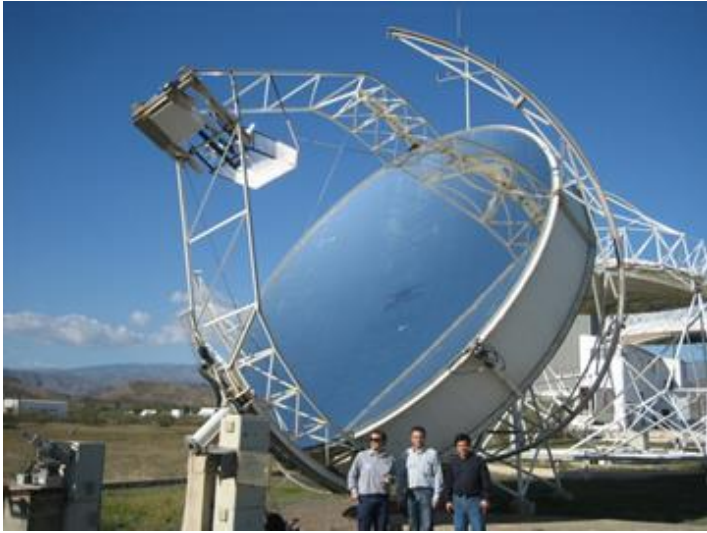


Figura 17. Disco parabólico DISTAL-I utilizado para el envejecimiento acelerado de materiales en PSA.



Figura 18. Vista de un disco parabólico DISTAL- II.

El banco de pruebas de durabilidad y envejecimiento acelerado de materiales se complementa con el laboratorio para los ensambles de durabilidad y caracterización de materiales bajo radiación solar concentrada existente en PSA, que se describe en la sección de laboratorios de este documento (sección 3.4), y con el laboratorio de durabilidad y envejecimiento acelerado de materiales existente en Madrid (sección 3.7).

2.4.2 EURODISH

Bajo el proyecto hispano-alemán EUROdish, se diseñaron y construyeron dos nuevos prototipos de disco / Stirling (ver Figura 19), descartando la tecnología de membrana tensionada y aplicando un sistema moldeado de material compuesto. Estos discos parabólicos se pueden usar para probar nuevos prototipos de motores Stirling, o para realizar cualquier otra prueba que requiera un foco con 50 kWth como máximo y una concentración máxima de 16,000 soles en el foco. El sistema de seguimiento es acimut-elevación.

2.5 Instalación de Hornos Solares

2.5.1 Horno Solar SF-60

El SF60 consiste básicamente en un helióstato plano de 120 m² que refleja la luz solar en un concentrador parabólico de 100 m² que a su vez concentra los rayos entrantes en el foco de la parábola, donde se colocan las muestras analizadas. La luz entrante está regulada por atenuador de lamas colocado entre el helióstato y el concentrador. Finalmente, se utiliza una mesa de ensayo móvil en tres ejes para colocar las muestras en el foco.



Figura 19. Vistas frontal y posterior del EURODISH.

En este horno, el heliostato recoge la radiación solar y la redirige al concentrador. La superficie reflectante del heliostato está formada por facetas planas, no concentradoras, que reflejan los rayos del sol horizontalmente y paralelos al eje óptico del concentrador de discos parabólicos, siguiendo continuamente el sol.

El único heliostato asociado con el SF-60 consta de 120 facetas planas, con una superficie reflectante de 1 m² cada una. Estas facetas han sido diseñadas, fabricadas, ensambladas y alineadas por técnicos de PSA. Cada faceta está compuesta por una superficie reflectante de 1 m² y un espejo plano Rioglass de 3 mm de espesor plateado en su parte posterior (segundo espejo de superficie). Los técnicos de hornos solares también son responsables de un nuevo método de fijación de la faceta en un marco que minimiza la deformación de la superficie reflectante. La Figura 20 y la Figura 21 muestran el heliostato instalado en este horno solar y un detalle de la parte posterior de la faceta, respectivamente.



Figura 20. Heliostato HT120 con las nuevas facetas de PSA



Figure 21. Reverso de la faceta.

El concentrador parabólico es la característica principal de este horno solar. Está hecho de facetas esféricamente curvadas distribuidas a lo largo de cinco radios con diferentes curvaturas dependiendo de su distancia desde el foco. Concentra la luz solar incidente del heliostato, multiplicando la energía radiante en el foco.

El obturador (atenuador, consulte la Figura 22) consta de un conjunto de persianas horizontales, que giran sobre su eje para controlar la cantidad de luz solar que incide en el concentrador. La energía total en el foco es proporcional a la radiación que atraviesa el obturador.

La mesa de ensayo es un soporte móvil para las piezas de ensayo o prototipos a probar que se encuentra bajo el foco del concentrador. Se mueve en tres ejes (X, Y, Z) perpendiculares entre sí y coloca la muestra de ensayo con gran precisión en el área focal.

La combinación de todos los componentes descritos lleva a la distribución de densidad de flujo en el foco, que es lo que caracteriza a un horno solar. Esta distribución generalmente tiene una geometría gaussiana y se caracteriza por una cámara CCD conectada a un procesador de imagen y un objetivo lambertiano. Las características del foco con 100% de apertura y radiación solar de 1000 W / m^2 son: flujo máximo, 300 W / cm^2 , potencia total, 69 kW y diámetro focal, 26 cm .



Figura 22. Helióstato HT120 en seguimiento solar.

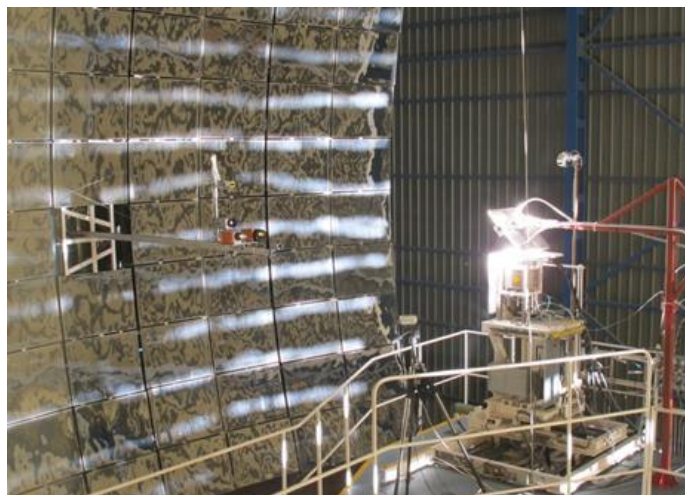


Figura 23. Vista interior del Horno Solar SF-60 de PSA en operación

2.5.2 Horno Solar SF-40

El horno SF-40 consiste principalmente en un disco parabólico de $8,5 \text{ m}$ de diámetro, con una distancia focal de $4,5 \text{ m}$ (ver Figura 24). La superficie del concentrador consta de 12 pétalos curvados de fibra de vidrio o sectores cubiertos con espejos adhesivos de $0,8 \text{ mm}$ en el frente. La parábola así formada se mantiene en la parte posterior mediante una estructura espacial de anillo para darle rigidez y mantenerla vertical. El nuevo horno solar SF40 alcanza una concentración máxima de 5000 soles y tiene una potencia de 40 kW , su tamaño de enfoque es de 12 cm de diámetro y ángulo de borde $\alpha = 50,3^\circ$. Su eje óptico es horizontal y es del tipo "on-axis" que es concentrador parabólico, el foco y el helióstato están alineados en el eje óptico de la parábola.

Básicamente consiste en un helióstato plano de superficie reflectante de 100 m^2 , un concentrador parabólico de $56,5 \text{ m}^2$ de área de proyección, atenuador de listones y mesa de prueba con movimiento de tres ejes. El foco del SF40 está dispuesto en el plano vertical.

Para trabajar en el plano horizontal, los rayos del haz incidentes enfocados se giran 90° , utilizando un espejo inclinado y enfriado colocado en el área focal, que gira el haz hacia el plano horizontal. La instalación se completa con un sistema de gas y una cámara de vacío -MiniVac 2-, que permite realizar pruebas en atmósfera controlada y en vacío, para que las muestras no se oxiden durante las pruebas.

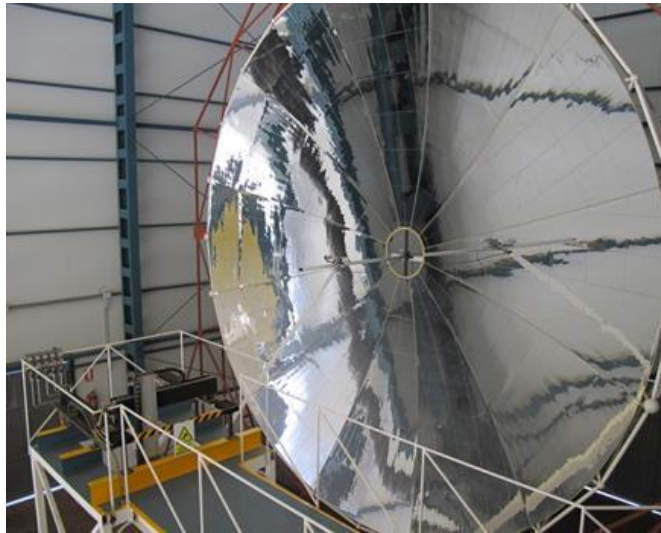


Figura 24. Interior del horno solar SF-40, mostrando el concentrador parabólico.

2.5.3 Horno Solar SF-5

Diseñado y construido en el PSA, este sistema está en funcionamiento desde 2012 y está enfocado a pruebas que requieren un alto flujo radiante, gradientes fuertes y temperaturas muy altas.

Se llama SF5 -Solar Furnace 5, por su potencia de 5 kW-, alcanza concentraciones superiores a 7000 soles, su diámetro de enfoque es de 2.5 cm, y se dedica principalmente al tratamiento térmico de materiales a alta temperatura, bajo vacío y en condiciones de atmósfera controlada, para lo que se utiliza una cámara de vacío, llamada cámara esférica, provista de un sistema de gas.

Difiere sustancialmente del horno solar SF60 existente en PSA y la mayoría de los hornos solares operativos, ya que funciona en un eje vertical, es decir, el concentrador parabólico y el helióstato están alineados verticalmente en el eje óptico del paraboloide, mientras que en la mayoría de los hornos solares existentes, están alineados horizontalmente. La principal ventaja de los hornos solares de eje vertical es que el foco está dispuesto en un plano horizontal, de modo que las muestras pueden tratarse en una superficie horizontal, simplemente colocándolas directamente en el foco, sin un soporte, evitando problemas de pérdida de material por gravedad en aquellas pruebas en las que el tratamiento requiere la fusión superficial de las muestras.

Básicamente consiste en un espejo concentrador de 8,7 m², colocado boca abajo con la superficie reflectante hacia el piso, en una torre metálica de 18 m de altura; en el centro de la base de la torre hay un helióstato plano de 100 m², cuyo centro de rotación está alineado con el eje óptico del concentrador. En la parte superior de la torre, en la sala de prueba, y 2 m debajo del vértice del concentrador, hay una mesa de ensayo. Finalmente, debajo de la mesa de ensayo y al nivel del piso de la sala de prueba, se coloca un atenuador de lamas.



Figura 25. Concentrador del horno SF-5.

2.6 Sistemas de Almacenamiento

2.6.1 Lazo de Ensayos de Sales Fundidas para Sistemas de Energía Térmica

Este lazo de ensayos de sal fundida es una réplica de un sistema de almacenamiento de energía térmica con sales fundidas y una configuración de dos tanques. Con 40t de de sales fundidas en planta, esta instalación consiste básicamente en:

- Dos tanques, uno vertical, para sales fundidas calientes, y otro horizontal, para sales fundidas frías.
- Un circuito de aceite térmico que puede usarse para calentar la sal hasta 380 ° C y enfriarla a 290 ° C.
- Un intercambiador de calor de sales fundidas con CO₂ para calentar la sal hasta 500 ° C con CO₂ suministrado por captadores cilindroparábolicos.
- Dos secciones con bridas, donde se pueden probar diferentes componentes para este tipo de lazos (por ejemplo, válvulas, medidores de flujo, trazado de calor, bombas ...).

Al ser una configuración que es una escala reducida de un sistema comercial de almacenamiento de sales fundidas de dos tanques, todo lo relacionado con este tipo de sistemas se puede probar en esta instalación. Algunas aplicaciones de esta instalación son:

- Verificación de componentes (bombas, válvulas, caudalímetros, etc.) para su uso en un medio de sal fundida.
- Optimización de procedimientos en operación normal para una configuración de sistema de dos tanques.
- Optimización de procedimientos en situaciones de riesgo para una configuración de sistema de dos tanques. Diseño de procedimientos de recuperación.
- Validación de modelos y enfoques de simulación para sistemas térmicos de sales fundidas.
- Caracterización de intercambiadores de calor para sal fundida / aceite.
- Caracterización de intercambiadores de calor para sal fundida / gas.

- Caracterización de tanques de termoclina.



Figura 26. Lazo de Ensayos de Sales Fundidas (MOSA) para Sistemas de Energía Térmica.

2.7 Instalaciones experimentales de Desalación Solar

2.7.1 Instalaciones de Destilación Multi-Efecto

2.7.1.1 Instalación de Destilación Solar Multi-Efecto y

Esta instalación está formada por los siguientes subsistemas:

- Planta (MED) de destilación multi-efecto de 14 etapas
- Campo solar de captadores estáticos de gran apertura
- Sistema solar de almacenamiento térmico basado en agua
- Bomba de absorción de calor de doble efecto (LiBr-H₂O)
- Caldera de gas

La unidad de destilación multi-efecto está formada por 14 etapas o efectos, situadas verticalmente con entrada directa de agua de mar al primer efecto (configuración de alimentación hacia adelante). Con un caudal nominal de alimentación de 8 m³/h, la producción de destilado es de 3 m³/h, y el consumo térmico de la planta es 190 kW_{th}, con un rendimiento térmico (kg de destilado producido por el calor transferido al primer efecto, normalizado a 2326 kJ) por encima de 9. La concentración salina del destilado es alrededor de 5 ppm. La diferencia de temperatura nominal entre la primera celda y la última es de 40°C, con una temperatura máxima de operación de 70°C en el interior de la primera celda. El fluido de transferencia de calor en el sistema es agua, que se calienta a su paso por el campo solar de captadores y la energía adquirida es transferida a su vez al sistema de almacenamiento. El agua caliente procedente de este sistema de almacenamiento aporta a la planta MED la energía térmica necesaria para su operación.

El campo solar (AQUASOL-II) está formado por 60 captadores estáticos (Wagner LBM 10HTF) con un área total de apertura de 606 m² y está conectado con un sistema de almacenamiento

térmico (40 m^3) a través de un intercambiador de calor (dentro de esta subsección hay más detalles sobre este campo solar).

La bomba de calor por absorción de doble efecto (LiBr-H₂O) está conectada al último efecto de la planta MED. El vapor saturado de baja presión (35°C , 56 mbar abs) generado en este último efecto aporta al evaporador de la bomba de calor la energía térmica necesaria a baja temperatura, que de otra manera sería vertida al medioambiente, reduciendo a la mitad el consumo de energía térmica necesario para un proceso convencional de destilación multi-efecto. El sistema fósil de apoyo es una caldera de agua de propano que asegura las condiciones de operación de la bomba de calor (vapor saturado a 180°C , 10 bar abs), así como la operación de la planta MED en ausencia de radiación solar.



Figura 27. Planta SOL-14 MED de PSA (a), bomba de calor por absorción LiBr-H₂O (b) y campo solar de 606-m^2 de captadores planos (c).

2.7.1.2 Banco de ensayos para Aplicaciones de Desalación Solar Térmica

El objetivo de esta instalación es el estudio del rendimiento de captadores solares estáticos de gran apertura y su comportamiento en el acoplamiento con sistemas de desalación térmica a niveles de temperatura de entre $60\text{-}90^\circ\text{C}$.

El modelo de captador instalado es LBM 10HTF con 10.1 m^2 de área de apertura, fabricado por Wagner & Co. El campo solar estático está formado por 60 captadores con 606 m^2 de área de apertura y una potencia térmica de $323 \text{ kW}_{\text{th}}$ en condiciones nominales (rendimiento 59% para una radiación global de 900 W/m^2 y una temperatura media del captador de 75°C). Está formado por 4 lazos con 14 captadores de gran apertura por fila, conectados en paralelo (dos filas conectadas en serie por lazo con 7 captadores en paralelo por fila), y un pequeño lazo adicional con 4 captadores conectados en paralelo, todos ellos inclinados 35° orientación sur. Cada fila tiene su propio sistema de llenado/vaciado que consiste en dos depósitos de agua, desde los que se bombea el fluido de transferencia de calor a los captadores al principio de la operación y donde se arroja todo el volumen

de agua de los captadores bien al final de la operación o cuando se alcanza el límite de temperatura (por encima de 100°C). El campo solar tiene válvulas de control de caudal que permiten tener una distribución de caudal igual en todos los lazos sin regulación adicional. Además, la instalación dispone de un enfriador de aire que permite la disipación de toda la energía del campo solar por completo, lo que resulta muy útil para ensayos de rendimiento a distintas temperaturas. Los cinco lazos de captadores están conectados con un sistema de almacenamiento térmico a través de un intercambiador de calor. El sistema de almacenamiento térmico consiste en dos tanques de agua conectados entre sí, con una capacidad total de almacenamiento de 40 m³. Este volumen permite suficiente autonomía de operación al sistema fósil de apoyo para alcanzar las condiciones nominales de operación en la planta desaladora.

La flexibilidad del campo solar permite la operación de cada lazo independientemente, por medio de sus propias válvulas y sistema de bombeo. Cada lazo está conectado a un intercambiador de calor individual que ofrece la posibilidad de acoplarlo por motivos de ensayo con cualquier sistema de desalación térmica a baja temperatura.



Figura 28. Campo solar de 606-m² de captadores estáticos (AQUASOL-II).

2.7.2 Instalación CSP+D

2.7.2.1 Banco de Ensayos CSP+D: Integración de la Planta de Desalación MED y Plantas Termosolares

Esta instalación está dedicada a la investigación del acoplamiento entre plantas termosolares (CSP) y de desalación (CSP+D). La instalación está compuesta por dos generadores de vapor (250 kW y 500 kW) alimentados por aceite térmico proveniente de un campo solar de captadores cilindro

parabólicos capaz de entregar aceite térmico con temperaturas de hasta 400°C y un sistema eléctrico auxiliar para el aumento de temperatura a demanda. Los generadores de vapor pueden producir vapor a distintas presiones, lo que permite recrear cualquiera de las extracciones intermedias típicas o el vapor exhausto a la salida de una turbina en una planta termosolar. El vapor de baja presión se obtiene haciendo pasar el vapor de los generadores por dos secciones de tubería diferentes (diámetro 12-pulgadas) equipado con válvulas de control, lo que permite obtener vapor saturado a dos niveles diferentes: 0.074 bar/42°C (caudal nominal de 119 kg/h, caudal máximo de 360 kg/h) y a 0.16 bar/58°C (caudal nominal de 195 kg/h, máximo caudal de 360 kg/h). El vapor de alta y baja presión se utilizan como vapor vivo y de succión, respectivamente, en una fila de cuatro eyectores de vapor acoplados a la planta MED de la PSA, simulando el comportamiento de una planta MED trabajando con termo-compresión de vapor (TVC-MED). Los eyectores de vapor pueden trabajar con vapor vivo en un amplio rango de condiciones de presión (40 - 6 bar; 4 - 2 bar), lo que también permite la caracterización de este tipo de dispositivos. A su vez, el vapor de baja presión también se puede condensar a través de dos aerocondensadores convencionales sin pasarlos por los eyectores de vapor, con objeto de investigar en el campo de sistemas de refrigeración de plantas CSP. La flexibilidad de la instalación permite la evaluación de prototipos innovadores sistemas de refrigeración en condiciones reales de operación y su comparación con aerocondensadores convencionales disponibles en el mercado.



Figura 29. Vista exterior del edificio CSP+D con enfriadores de aire (a) y vista parcial del interior del banco de ensayo CSP+D (b).

2.7.2.2 NEP: La instalación para Aplicaciones de Poligeneración

La poligeneración es un proceso integral cuyo objetivo es producir dos o más productos a partir de una o varias fuentes. En el caso de que la fuente de energía sea solar, se utiliza energía térmica procedente de un campo solar para varias aplicaciones simultáneas, tales como generación de electricidad, desalación de agua para suministro de agua potable y el resto para agua caliente doméstica (DHW).

El objetivo de esta instalación es el estudio preliminar del comportamiento de un campo solar de captadores cilindro parabólicos con baja razón de concentración y la evaluación de su viabilidad como fuente de calor en diseños de poligeneración, en particular en procesos CSP+D que requieren temperaturas alrededor de 200°C. El captador seleccionado fue el prototipo Polytrough 1200 de NEP Solar. Tiene una producción de 15.8 kW por módulo (0.55 kW/m²) en condiciones nominales, cuya

temperatura es de 200°C, y rendimiento por encima del 55% en el rango de 120-220°C (para 1000 W/m² de radiación directa normal).

El campo está configurado con ocho captadores colocados en 4 filas paralelas, con 2 captadores en serie en cada fila. Esta configuración aporta 125 kW de energía térmica. La temperatura del aceite térmico puede ser de hasta 220°C, lo que permite así evaluar diferentes diseños de poligeneración utilizando energía solar térmica.

Actualmente el campo solar también se utiliza para generar vapor para alimentar la bomba de absorción de calor de doble efecto de la planta MED de PSA.

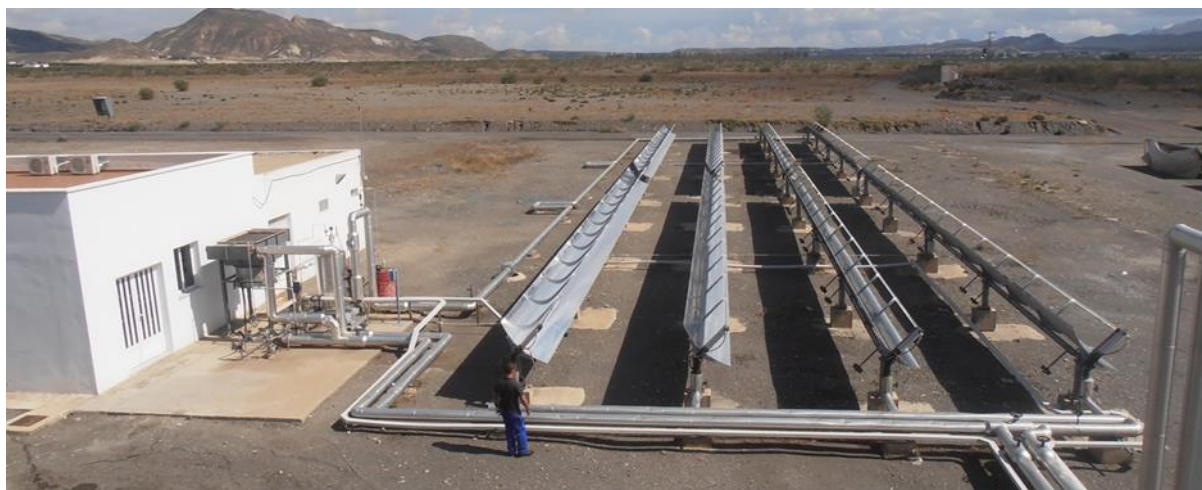


Figura 30. Campo solar PolyTrough 1200 de NEP.

2.7.3 Instalaciones de Ensayo de Destilación por Membranas

2.7.3.1 Banco de Ensayo para Aplicaciones de Destilación Solar por Membranas en Planta Piloto

La instalación está diseñada para la evaluación de aplicaciones de desalación solar térmica. Hay dos campos solares de captadores planos: uno de 20 m² con dos filas paralelas de cinco captadores en serie (Solaris CP1 Nova, de Solaris, España), y otra de 40 m² con cuatro captadores de gran tamaño en paralelo (LBM 10HTF, de Wagner Solar, España). Ambos campos están conectados a tanques de agua de 1500 litros que sirven de acumuladores de calor para la regulación térmica y almacenamiento, y tienen un sistema de distribución que permite la conexión simultánea de varias unidades. Los bancos de ensayo permiten un suministro de calor inerte utilizando el almacenamiento de calor térmico o suministro directo del campo solar sin almacenamiento. La instalación está completamente automatizada y monitorizada (temperaturas y caudal) y permite la regulación del caudal de calor. La potencia térmica máxima es 7 kW_{th} en un caso y 14 kW_{th} en el otro, y puede suministrar agua caliente con temperatura de hasta 90°C aproximadamente.

La instalación tiene un circuito de agua separado que puede utilizarse para refrigeración (alrededor de 3.5 kW_{th}) en las unidades de desalación y como un sistema para suministrar agua de mar simulada, con la posibilidad de trabajar en lazo abierto o cerrado. En el último caso, los caudales de destilado y salmuera son recogidos y mezclados juntos para ser retroalimentados en las unidades de desalación pasando a través de un sistema de disipación de calor. Actualmente la instalación opera con módulos de destilación por membranas y tiene una amplia gama de unidades comerciales y pre-comerciales de distintos fabricantes. La lista de módulos MD que han sido o están siendo evaluados es:

Módulos comerciales de placa y marcos con hueco de aire (AGMD, del inglés air-gap membrane distillation) de la empresa Scarab (superficie total de membrana 2.8 m²).

Dos prototipos de placa y marcos con hueco relleno de permeado (PGMD, del inglés permeate-gap membrane distillation) de la empresa Keppel Seghers (ambos con una superficie total de membrana de 9 m²), uno compacto (M33) y otro dividido en tres módulos separados conectados en serie para mayor recuperación energética (PT5).

Módulos comerciales espirales Oryx 150 PGMD de la empresa Solar Spring (10 m²).

Dos módulos espirales AGMD de la empresa Aquastill con superficie de membrana de 7 m² y 24 m² respectivamente.

Unidades WTS-40A y WTS-40B de la empresa Aquaver, basados en la tecnología de destilación por membranas de vacío multiefecto utilizando módulos fabricados por Memsys (5.76 m² y 6.4 m² superficie total de membrana respectivamente)..



Figura 31. Vistas interior (a) y exterior (b) del banco de ensayos experimental de Destilación por Membranas dentro de la instalación de Desalación solar térmica de la PSA

2.7.3.2 Unidad a escala piloto para ensayos de aplicaciones de Destilación por Membrana utilizando configuraciones air-gap, permeate-gap y contacto directo

La instalación consiste en un banco de ensayos con un pequeño módulo de placa y marcos (Figura 32) que puede utilizarse para la evaluación de la destilación por membranas en configuraciones AGMD y PGMD. El módulo está hecho de polipropileno y está diseñado de tal forma que la membrana pueda ser reemplazada fácilmente. El módulo tiene una placa de condensación en la parte fría para operar en configuración AGMD, pero puede cerrarse en el fondo para operar en PGMD manteniendo el destilado dentro del hueco o en reserva para operar en modo de contacto directo. La superficie efectiva de membrana es de 250 cm².

La instalación dispone de dos circuitos hidráulicos separados, uno en la parte caliente y otro en la parte fría. En la parte caliente, hay un tanque de 80 litros equipado con un calentador eléctrico (3 kW_{th}) controlado por un termostato (90°C máximo), y la circulación se hace desde el lado de almacenamiento y alimentación del módulo mediante una bomba centrífuga. En la parte fría hay un enfriador (800 W_{th} a 20°C) para el control de la temperatura del agua que se circula entre un tanque de almacenamiento de 80 litros y el módulo. El circuito tiene aislamiento térmico y está completamente monitorizado para temperaturas, caudales y caída de presión, conectados todos los sensores a un sistema SCADA.

2.7.3.3 Unidad a escala piloto para ensayos de Destilación por Membranas utilizando módulo plano

La instalación consiste en un laboratorio con equipos de investigación de gran precisión (Figura 33) diseñados para ensayos básicos y de viabilidad en destilación por membranas. Consta de las siguientes características únicas que son esenciales para resultados representativos y escalables:

1. Formato de celda con distribución representativa de caudal. El tamaño de la celda es suficiente para mantener un régimen de circulación y una distribución de caudal aplicables a tecnología MD a escala completa.
2. Configuración del módulo MD ajustable para todas las variantes de canal (PGMD, AGMD, DCMD, VMD, VAGMD).
3. Precisión de temperatura de 0.5°C.
4. Fuerza impulsora controlable.
5. Sistema de control completamente automatizado y amplio rango de posibles parámetros de ajuste mediante pantalla táctil PLC.
6. Práctico formato A4 para los materiales de la membrana y la placa de condensación.



Figura 32. Banco de ensayos para membranas MD.



Figura 33. Banco de ensayos para membranas de lámina plana MD.

2.7.3.4 Unidad a escala piloto para ensayos de Osmosis Avanzada y Osmosis de Presión Retardada en 2-Etapas

La instalación consiste en un banco de ensayos con dos módulos pequeños de placa y marco de ósmosis avanzada (FO, del inglés forward osmosis) que pueden conectarse en serie o en paralelo. Hay una bomba para la disolución de recuperación y dos para la disolución de alimentación, cada una con caudal variable y medidas de caudal. El circuito hidráulico ha sido modificado de manera que los módulos puedan ser operados en modo de ósmosis de presión retardada (PRO, del inglés pressure-retarded osmosis). Por este motivo, se han instalado en la parte de disolución de recuperación tuberías de acero y una bomba de alta presión (3 L/min; up to 17 bar), y se utilizan celdas con presión de operación de hasta 15 bares. Estas celdas tienen cada una superficie útil de

100 cm², y canales hidráulicos en zig-zag de 4 mm de ancho y 2 mm de profundidad. El sistema utiliza un contenedor para la disolución de recuperación y dos para las disoluciones de alimentación, cada uno situado en equilibrio para medir cambios en la velocidad de caudal de la disolución de recuperación y la disolución de alimentación de cada celda. Los contenedores tienen un sistema automático de dosificación para mantener la salinidad constante. El sistema tiene dos medidores de conductividad para la salinidad baja y para la alta, así como sondas de presión en cada línea y lectores de temperatura.

2.7.3.5 Planta Piloto para el estudio de Combinaciones de Ósmosis Avanzada y Ósmosis Inversa

La planta tiene tres unidades diferentes que pueden ser acopladas de distinta forma entre ellas: (i) ósmosis avanzada; (ii) ósmosis inversa; (iii) microfiltración. La unidad de ósmosis avanzada (FO) un módulo en espiral de 4" de membrana de acetato de celulosa (CTA) con once hojas de membrana de 1.5 m² de superficie cada una, suministradas por HTI. El caudal nominal es 3.6 m³/h. La unidad de ósmosis inversa (RO, del inglés reverse osmosis) tiene 4 depósitos que pueden ser conectados en serie o en paralelo, con 4 membranas cada uno. El caudal nominal es 3 m³/h, y el sistema de bombeo puede trabajar a distintas presiones hasta un máximo de 80 bares. La unidad está diseñada para que se puedan utilizar membranas para ósmosis inversa de agua de mar (SWRO, del inglés seawater reverse osmosis), ósmosis inversa de agua salobre (BWRO, del inglés brackish water reverse osmosis) o nanofiltración (NF, del inglés nanofiltration). Finalmente, hay una unidad de microfiltración con 3 m³/h de caudal nominal. La instalación está completamente monitorizada con sensores de presión, conductividad y caudalímetros, y está diseñada de manera flexible con respecto a la interconexión de las unidades, de forma que la FO puede utilizarse como pretratamiento para la RO, la NF puede utilizarse en combinación con la FO, e incluso la FO puede utilizarse en modo PRO utilizando el sistema de bombeo de la unidad de RO.



Figura 34. Banco de ensayos para el estudio de la combinación FO-RO

2.8 Instalaciones Experimentales de Detoxificación y Desinfección Solar

Las principales instalaciones relacionadas con la purificación de agua solar se enumeran y describen a continuación:

- Plantas piloto de CPC solar (captador parabólico compuesto).
- Simuladores solares.
- Plantas piloto para tratamiento biológico.
- Planta piloto de ozonización.
- Planta piloto de nanofiltración.
- Planta piloto UVC.
- Instalación de ensayo para la producción fotocatalítica de hidrógeno con energía solar.
- Planta piloto de oxidación de aire húmedo.
- Cámara de cultivo experimental.

2.8.1 Plantas solares piloto CPC

Desde 1994 se han instalado varias plantas piloto de CPC en las instalaciones de PSA (Figura 35). Básicamente, las plantas piloto solares están formadas por módulos que pueden conectarse en serie. Cada módulo consta de una serie de fotorreactores colocados en el foco de un espejo de aluminio anodizado con forma de captador parabólico compuesto (CPC) para optimizar la recolección de fotones solares en el tubo del fotorreactor. Los módulos se colocan en una plataforma inclinada a 37 ° de la horizontal para maximizar la captación solar global de fotones durante todo el año. Además, las plantas piloto pueden estar equipadas con sistemas adicionales para diferentes propósitos, por ejemplo: tanques de sedimentación (para recuperación de catalizador), sistemas de calefacción y enfriamiento para control de temperatura durante los experimentos, acoplamiento con otras tecnologías de tratamiento como biotratamiento, ozonización, etc. En la Tabla 1 se muestra un resumen de los reactores de CPC solar ya instalados.

Tabla 1. Resumen de las plantas piloto CPC en las instalaciones de PSA.

Año	CPC (m ²)	Total/volumen iluminado (L)	Caudal o volumen	Diametro del tubo (mm)	Sistemas añadidos/Características
1994	3x3	250/108	Caudal	50	
2002	15	300	Caudal	32	
2004 (CADOX)	4	75/40	Caudal	50	- 50L Sistema ozonización - Sistema biológico de tratamiento de agua - Monitorizado (pH, T, ORP, O ₂ , velocidad de caudal, H ₂ O ₂ , O ₃), control (pH, T, velocidad de caudal)
2007 (SOLEX)	3.08(x2)	40/22	Caudal	32	- Prototipos gemelos - Pantalla de Plexiglass - Monitorizado de O ₂ disuelto y temperatura - Especialmente desarrollado para aplicaciones de foto-Fenton
2008 (FIT)	4.5	60/45	Caudal	50	- Monitorizado (pH, T, O ₂ , velocidad de caudal) y control (T (20-55°C), velocidad de caudal). - 100 L tanque de sedimentación para separación de catalizador
2010 (FIT-2)	4.5	60/45	Caudal	50	- Monitorizado (pH, T, O ₂ , velocidad de caudal) y control (T (20-55°C), O ₂ , velocidad de caudal) - Tanque de sedimentación
2011 (HIDRO-CPC)	2.1	25/14.24	Caudal	32	- Acoplado con la planta piloto de generación H ₂
2011 (CPC25)	1	25/11.25	Caudal	50	

Tabla 1. Resumen de las plantas piloto CPC en las instalaciones de PSA.

Año	CPC (m ²)	Total/volumen iluminado (L)	Caudal o volumen	Diametro del tubo (mm)	Sistemas añadidos/Características
2013 (ELECTROX)	2	40/25	Caudal	50	- Acoplado con la planta electro-foto-Fenton
2013 (NOVO75)	2	74/68.2	Caudal	75	- Monitorizado (pH, T, O ₂ , velocidad de caudal) y control (T, O ₂ , velocidad de caudal)
2013 (CPC25)	1	25/11.25	Caudal o volumen	50	- Volumen variable, versatilidad para distintos volúmenes de agua
2013 (SODIS-CPC)	0.58(x2)	25/25	volumen	200	- Bajo costo, sin Sistema de recirculación
2016 (NOVO 75 V1.0)	2.03 (x2)	34 or 53	Caudal o volumen	75	- Dos módulos de captadores: CPC versus tipo de espejo U usados alternativamente - Tubos instalados en posición vertical - Inyección de aire en tubos. - Monitorizado (pH, T, O ₂ , velocidad de caudal) y control (T, O ₂ , velocidad de caudal) -- Sistema de control automático para llenar el sistema de acuerdo con la energía incidente -- Panel solar para calentamiento de agua

Como se menciona en la tabla 1, el fotorreactor CADOX se conectó a un sistema de ozonización 50L con una producción de ozono de hasta 15 g de O₃ / h. Está completamente monitorizado (pH, T, ORP, O₂, caudal, H₂O₂, O₃) y controlado (pH, T, caudal) por computadora. Además, conectado a este foto-reactor, hay un sistema biológico de tratamiento de agua que consta de tres tanques: un tanque cónico de 165 L para el acondicionamiento de aguas residuales antes del tratamiento, un tanque de recirculación cónica de 100 L y un tanque aeróbico de fondo plano de 170 L reactor biológico. El reactor de lecho fijo se llena con soportes de polipropileno de anillo Pall® que ocupan 90-95 L y pueden ser colonizados por el lodo activo de una EDAR.



Figura 35. Vista de varios fotoreactores CPC para la purificación de agua.

Un captador CPC de 2m² con 10 tubos de vidrio de borosilicato (50 mm de diámetro), un volumen iluminado de 25 L y un volumen total de 40 L está conectado a cuatro electrocélulas para la investigación experimental en procesos electro-foto-Fenton para la descontaminación y desinfección de aguas. En 2016, se instaló en PSA una nueva planta piloto con dos módulos de captadores de 2 m² con forma de espejo diferente (CPC y espejo tipo U) (Figura 37). Está compuesto por un tanque de alimentación de polipropileno de 192 L de volumen total y un tanque de preparación de 92.5 L, conectado por gravedad a los fotorreactores tipo CPC y U. El último presenta 1,98 m² de superficie irradiada con un volumen operativo recomendado de 53 L. Toda la planta piloto está equipada y controlada automáticamente por un sensor solar UVA. Además, la planta piloto está equipada con un panel de calentamiento solar de agua que permite aumentar la temperatura del agua antes de descargarla en los fotorreactores.



Figura 36. Planta piloto Electro-Fenton acoplada con un CPC 2 m² (ELECTROX).



Figura 37. Vista del nuevo CPC y fotorreactores tipo-U (NOVA 75 V 1.0).

2.8.2 Simuladores solares

Junto con estas instalaciones de planta piloto, hay dos simuladores solares provistos de lámparas de xenón para experimentos de desinfección y desinfección de agua a pequeña escala. En ambos sistemas, la intensidad de la radiación puede modificarse y controlarse. Uno de los simuladores solares XLS + contiene un filtro UV (Suprax) con limitación de longitud de onda a 290 nm que simula la radiación solar externa. La temperatura también se puede modificar y controlar en ambos sistemas mediante un sistema de enfriamiento (SUNCOOL) (Figura 38).

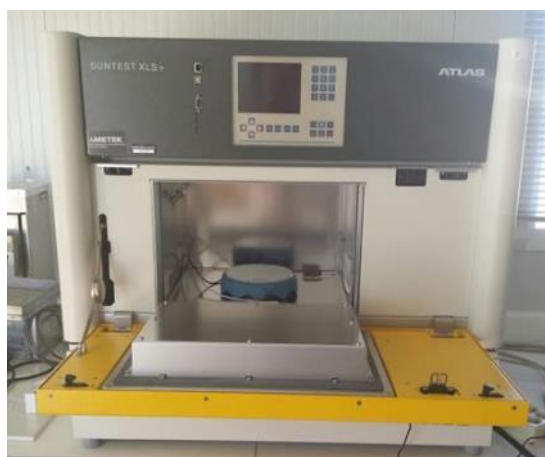


Figura 38. Simulador solar SUNTEST XLS+.

2.8.3 Planta piloto de ozonización

El sistema de ozonización tiene un reactor de columna de contacto con un volumen total de 20L (volumen mínimo de operación de 8L), sistema de dosificación de reactivos y control automático de pH. La planta piloto está equipada con sensores de pH y redox, insertados en la línea de recirculación. En 2016, se agregó nueva instrumentación a la planta piloto de ozonización: (i) equipo para la eliminación de humedad en la salida de gas de ozono (Figura 39.a); (ii) destructor de ozono termocatalítico (Figura 39.b); (iii) sensor de ozono disuelto (Figura 39.c). Este sistema de ozonización funciona en modo por lotes permitiendo su combinación con otras tecnologías como fotorreactores CPC y la planta piloto UV.



(a)



(b)



(c)

Figura 39. a) Equipo para eliminación de humedad en salida de gas ozono; b) destructor de ozono termocatalítico; (c) Sensor de ozono disuelto .

2.8.4 Planta piloto de nanofiltración

El sistema de nanofiltración (NF) tiene dos modos de trabajo, en serie y en paralelo. El sistema básico constaba de dos membranas FILMTEC NF90-2540, conectadas en paralelo, con una superficie total de 5,2 m². Estas membranas compuestas de película delgada de poliamida funcionan a una temperatura máxima de 45 ° C, una presión máxima de 41 bar y una velocidad máxima de caudal de 1,4 m³ h⁻¹, mientras que el rango de pH de operación es de 2-11. Posteriormente se instaló una tercera membrana, por lo que la superficie total de filtración se incrementó a 7,8 m². El control del pH permite la limpieza y evaluar la separación de diferentes compuestos en las membranas dependiendo

del valor del pH. También se incluye una bomba dosificadora para estudiar el efecto de la adición de biocidas. Tiene un tanque de alimentación de 400 L (Figura 40.a). En 2016, el sistema de nanofiltración se ha automatizado mediante la inclusión de electroválvulas y la adquisición automática de las señales de los diferentes instrumentos (caudal, presión, temperatura, etc.) con el objetivo final de controlar mediante ordenador (se utilizó el software Labview, Figura 40.b) la generación de permeado y velocidad de caudal de concentrado.

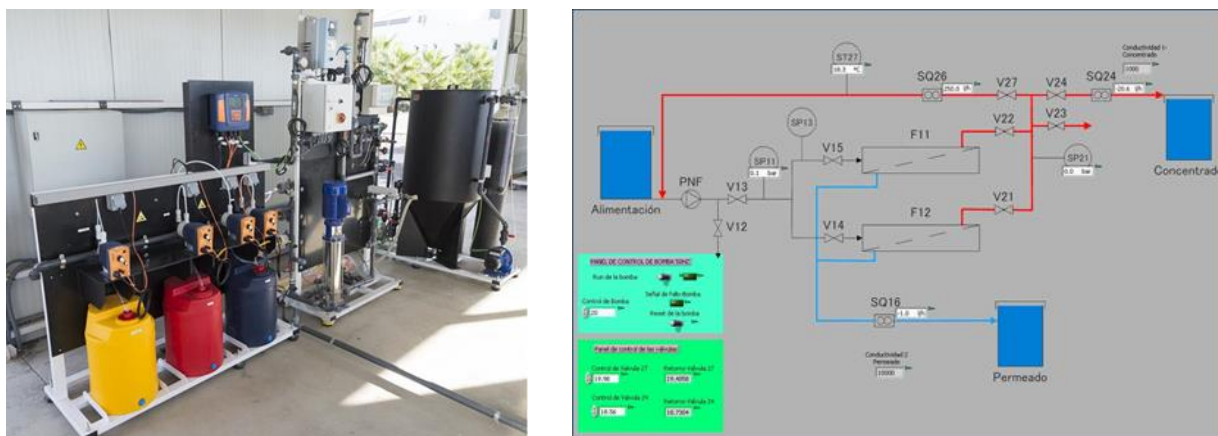


Figura 40. a) Foto de la planta piloto de nanofiltración; b) Nueva interfaz lavbiew para control y operación automática de la planta piloto.

2.8.5 Planta piloto UVC-H₂O₂

La planta piloto ultravioleta (UV) fue diseñada para tratar y desinfectar el agua con fines de investigación y comparación con las tecnologías solares. Esta planta consta de tres lámparas UV-C (velocidad caudal máxima de 25 m³ h⁻¹, longitud de onda máxima de 254 nm, potencia máxima de 400 Jm⁻²) conectadas en serie, con configuraciones flexibles para una sola lámpara, dos o tres lámparas en modo de recirculación o modo caudal continuo. La potencia de las lámparas y la velocidad de caudal se pueden regular de acuerdo con las necesidades del agua. Además, la planta está equipada con un sistema de dosificación de reactivos (ácido, base y peróxido de hidrógeno). El volumen total de recirculado de esta planta es de 200-250 L, con un volumen iluminado de 5.5 L por módulo de lámpara. El sistema está equipado con sensores de pH y oxígeno disuelto en línea y conectado a un controlador PROMINENT para la adquisición automática de datos de ambos parámetros.

2.8.6 Planta piloto biológica

Una planta piloto biológica con un sistema de depuración doble (Figura 41.a) tiene un sistema Reactor de Biomasa Inmovilizada (IBR) con un volumen total de 60 L: tres IBR de 20 L cada uno; y un sistema Sequencing Batch Reactor (SBR): dos SBR de 20 L cada uno. Estos módulos utilizan el mismo tanque de recepción (200L), así como los sistemas de control de pH y oxígeno disuelto y equipos electrónicos. Además, esta planta puede funcionar en modo continuo o por modos. Para la operación por modos, se utilizan dos tanques de decantación cónicos (40 L). La adquisición de datos de tres MULTIMETROS (M44 CRISON) se realiza mediante relés programables y los parámetros principales son monitorizados por un sistema SCADA

2.8.7 Planta piloto de generación fotocatalítica de hidrógeno

Esta planta está conectada a un fotoreactor de CPC para la eliminación simultánea de contaminantes orgánicos contenidos en soluciones acuosas y generación de hidrógeno. La planta piloto consiste en un tanque de acero inoxidable con un volumen total de 22 L, equipado con entrada y salida de gas y líquido y un puerto de muestreo. Se usan dos controladores de caudal másico paralelo para controlar el caudal de gas N₂ deseado en el espacio de cabeza del reactor durante la etapa de llenado. El fotoreactor de CPC junto con este sistema se describió anteriormente en la tabla 1 (Figura 41.b).

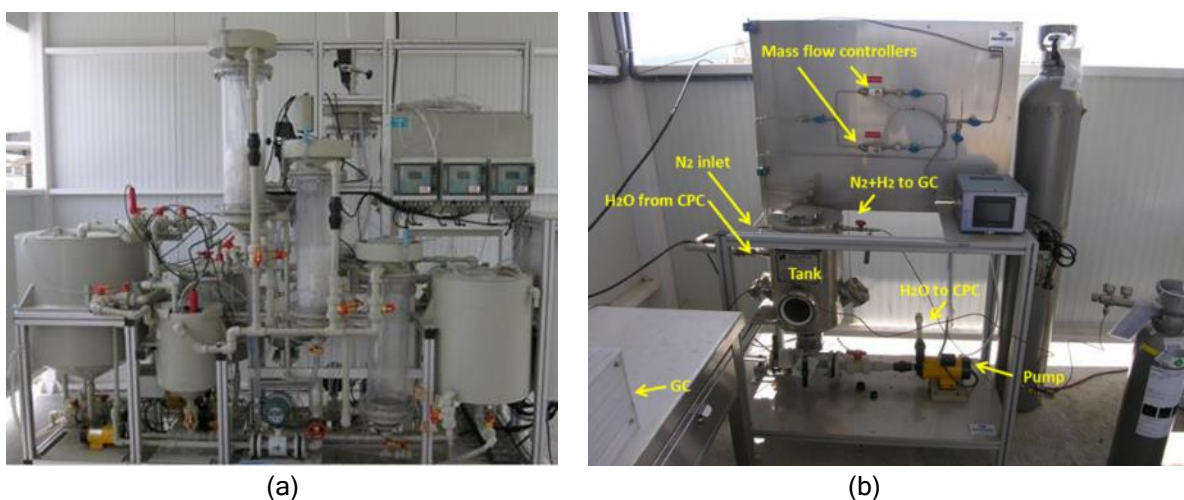


Figura 40. a) Planta piloto biológica instalada en PSA. b) Planta solar piloto para la generación fotocatalítica de hidrógeno.

2.8.8 Planta piloto de oxidación mediante aire húmedo

Una planta piloto diseñada e instalada en 2016 como pretratamiento duro para reducir la complejidad de los efluentes industriales y el tiempo de reacción de un posterior proceso de oxidación solar avanzada (AOP). Esta operación de planta piloto permite diferentes combinaciones de temperatura y presión, diversas proporciones de oxígeno y nitrógeno, oxidantes como peróxido y peroximonosulfato antes de calentar y / o presurizar el sistema, y el uso de diferentes sales metálicas como catalizador. La planta piloto de oxidación de aire húmedo consta de un reactor de acero inoxidable con un volumen total de 1000 ml, un agitador magnético, un disco de ruptura, un inyector de reactivos líquidos preparado para operar a menos de 200 bares y una temperatura máxima de 300 ° C, sonda térmica, sensor de presión (hasta 250 bar) y una camisa de enfriamiento-calentamiento, todo de acero inoxidable. La planta piloto de oxidación de aire húmedo incluye un sistema automático de control y adquisición de datos de diversos parámetros como presión, temperatura, dosis de reactivos y mezcla.

2.8.9 Equipo de monitorizado UVA solar

El sistema de monitorizado y almacenamiento de datos de radiación solar UV y global está compuesto por diferentes piranómetros, incluida la radiación solar global en el rango de 310 - 2800 nm (Kipp y Zonen CMP-6 con sensibilidad 5 - 20 V W⁻¹ m⁻², máx. valor: 2000 W m⁻²), y la radiación UVA global en el rango de 300-400 nm (Kipp y Zonen CUV-5 con sensibilidad 1 mV W⁻¹ m⁻², valor máximo: 100 W m⁻²). Además de esto, se instaló un fotómetro espectral con doble canal para monitorizar la irradiancia espectral solar en el lugar de los ensayos solares. Este equipo (AVANTES) tiene sensores y filtros UVA para medir en todo el rango espectral de 200 - 1100 nm.

2.8.10 Cámara de cultivo

La cámara de cultivo de 30 m² se utiliza para experimentos de reutilización de aguas residuales tratadas desde 2014 (Figura 42). Esta cámara controlada está hecha de policarbonato de 10 mm de espesor para evitar la radiación ultravioleta soportada por el acero laminado blanco (Sendzimir). La altura del soporte es de 2.5 m con una inclinación del techo del 40%. La cámara consta de 4 áreas individuales de 3x2.5 m². Cada área está equipada con sensores de temperatura y humedad, y un sistema de enfriamiento y calefacción. La cámara de cultivo está equipada con un radiómetro solar global para medir la radiación solar incidente. Así, a través de esta sonda, una cubierta de plástico opaco ubicada en la parte superior de la cámara se puede plegar y replegada automáticamente para reducir la incidencia de irradiancia dentro de la cámara de cultivo. Finalmente, la inclinación del techo de cada área actúa como ventanas que se pueden abrir y cerrar automáticamente para favorecer el caudal de aire dentro de cada área y mejorar la eficiencia del control de temperatura. La medición de los sensores (temperatura, humedad y radiación solar) y el control de la temperatura de cada área individualmente (mediante el sistema de enfriamiento y calefacción, ventanas y cubierta plástica superior) se realiza utilizando el software Ambientrol® que permite mantener una temperatura confortable para los cultivos aproximadamente a 25 ° C durante las diferentes estaciones.



Figura 41. Cámara de cultivo para la reutilización de aguas de riego residuales en cultivos en la PSA.

2.9 Instalaciones Experimentales para la Evaluación de Eficiencia Energética en Edificios

El Laboratorio de Ensayos de Componentes Energéticos en la Edificación (LECE), una de las instalaciones de la Plataforma Solar de Almería (PSA), forma parte de la Unidad de I + D de Eficiencia Energética en la Construcción (UiE3) en la División de Energías Renovables del Departamento de Energía del CIEMAT. El UiE3 realiza I + D en análisis de energía integral de edificios, integrando sistemas solares térmicos pasivos y activos para reducir la demanda de calefacción y refrigeración. Esta unidad está organizada en dos líneas de investigación centradas en el análisis de energía en entornos urbanos y el análisis de energía experimental de edificios y componentes de edificios. Las instalaciones de prueba descritas se encuentran bajo estas últimas. Integran varios dispositivos con diferentes capacidades como se resume a continuación:

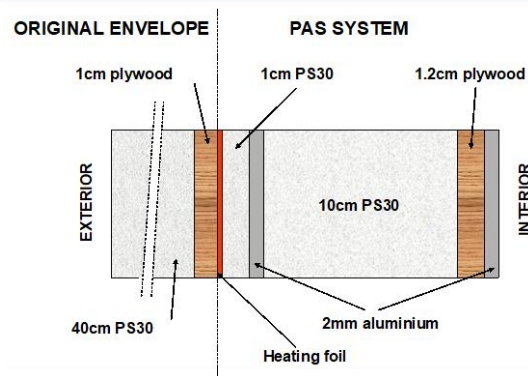
- Recintos de ensayo: El LECE tiene cinco recintos de ensayo, cada uno de ellos compuesto por una sala de prueba de alto aislamiento térmico y una sala auxiliar. El muro sur original de la sala

de pruebas se puede cambiar por un nuevo muro para probar. Esto hace posible la caracterización experimental de cualquier envolvente de construcción convencional o nueva.

- Recinto de ensayo PASLINK: el recinto de ensayo PASLINK español incorpora el concepto de capa pseudoadiabática (PAS). Este sistema detecta el flujo de calor a través de la envoltura del recinto de ensayo mediante un sistema de termopila y lo compensa con un dispositivo de lámina calefactora. La superficie interna de la sala de pruebas consiste en una lámina de aluminio que la hace uniforme para evitar puentes térmicos. También tiene un techo extraíble que permite probar componentes horizontales. El recinto se instala en un dispositivo giratorio para realizar pruebas en diferentes orientaciones.
- Recinto de ensayo CETeB: este es un nuevo recinto de ensayo para techos. El diseño de este recinto de ensayo resuelve algunos aspectos prácticos relacionados con las pruebas de techo, como la accesibilidad y la resistencia estructural. Para ello se utiliza una sala de prueba subterránea que permite un fácil acceso al componente de prueba.
- Chimenea solar: esta fue construida para experimentos de modelado empírico y validación de modelos teóricos. Su pared absorbente tiene 4.5 m de alto, 1.0 m de ancho y 0.15 m de espesor, con un canal de aire de 0.3 m de profundidad y una cubierta de vidrio de 0.004 m de espesor. Un panel de celosía en la salida de aire de la chimenea lo protege de roedores y pájaros. La entrada de aire está protegida por una caja de madera contrachapada para evitar grandes turbulencias del viento. La entrada de caudal de aire está colimada por una matriz laminada, de modo que el componente de velocidad está solo en la dirección x.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 42. (a) Recinto de ensayo PASLINK de CIEMAT realizando un ensayo térmico de un módulo de PV, (b) Dibujo esquemático de un sistema PAS, (c) Detalle del mecanismo giratorio, (d) Exterior del recinto de ensayo CETeB.

Edificio de una sola zona: es un pequeño edificio de una sola zona de 31.83 m² por 3.65 m de altura, construido en un área libre de otros edificios u obstáculos a su alrededor que podrían sombreadarlo, excepto un edificio gemelo ubicado a 2 m de su muro este. Su simplicidad facilita el monitorizado

detallado y exhaustivo y la configuración de secuencias específicas de aire acondicionado que simplifican su análisis para un desarrollo en profundidad y mejoran las metodologías de evaluación de energía para edificios experimentales.

Los C-Ddl PSE ARFRISOL son prototipos de edificios de oficinas de demostradores de investigación energética totalmente instrumentados que están en uso y son monitorizados continuamente por un sistema de adquisición de datos. El CIEMAT posee 3 de 5 de estos "Contenedores Demostradores de Investigación, C-Ddls", construidos bajo el Proyecto ARFRISOL. Cada uno de ellos es un edificio de oficinas con aproximadamente 1000 m² de área construida. Uno de ellos también está en el PSA y los otros en diferentes lugares representativos de los climas españoles. Estos C-Ddl están diseñados para minimizar el consumo de energía mediante calefacción y aire acondicionado, manteniendo niveles óptimos de confort. Por lo tanto, incluyen estrategias pasivas de ahorro de energía basadas en el diseño arquitectónico y de construcción, tienen sistemas solares activos que abastecen la mayor parte de la demanda de energía (ya baja) y, por último, sistemas auxiliares convencionales para abastecer la muy baja demanda que no se puede suministrar con energía solar, utilizando recursos de energía renovable, como la biomasa en la medida de lo posible.

Estos prototipos fueron construidos para mediciones de alta calidad registradas durante el monitorizado para apoyar las actividades de investigación sobre confort térmico, evaluación energética de edificios y sistemas activos y pasivos integrados en los edificios.



(a)



(b)



(c)

Figura 44. (a) Chimena Solar. Configuración que incluye mosaicos de material de cambio de fase, (b) Edificio de una zona de referencia, (c) Prototipo de edificio ARFRISOL en uso.

3 Laboratorios

3.1 Laboratorio para la caracterización geométrica de concentradores solares - GeoLab

Los concentradores utilizados en los sistemas termosolares (heliostatos, captadores cilindroparábolicos, platos parabólicos, lentes Fresnel, etc.) requieren una concentración de la radiación solar de alta precisión para que sea adecuada y la mayoría incida en el componente receptor (tubos receptores en captadores cilindroparábolicos, receptores en sistemas de torre, discos parabólicos, lentes Fresnel, etc. El laboratorio de la Unidad de Sistemas de Concentración Solar tiene una línea de actividad específica para la caracterización geométrica de estos concentradores. La fotogrametría se utiliza para cuantificar la calidad óptica de:

- Facetas de captadores cilindroparábolicos
- Módulos de captadores cilindroparábolicos
- Facetas de helióstatos
- Helióstatos
- Lentes Fresnel y reflectores
- Discos parabólicos
- Marcos estructurales ...

La fotogrametría consiste en el modelado tridimensional de cualquier objeto a partir de fotografías que lo capturan desde diferentes ángulos. En base a estas fotografías, las coordenadas tridimensionales (x, y, z) se pueden calcular para los puntos de interés en el objeto que se está modelando. El modelado de fotogrametría es preciso hasta 1: 50000 (precisiones del orden de 0,1 mm para las facetas del captador cilindroparábolicos y 0,6-0,7 mm para los módulos de cilindroparábolicos de 12 m de longitud).

El equipo asignado a esta actividad en la PSA está formado por:

- Cámara CANON EOS5D MarkII 22-Mpixel.
- Lentes CANON EF 20mm f/2.8 USM y CANON EF 24mm f/2.8 USM.
- Software Photomodeler Scanner 2017 photogrammetry.
- Escaner laser LEYCA P20.

Además, se ha desarrollado un paquete de software para el análisis de modelos y el cálculo de parámetros relevantes para geometrías 2D y 3D en el entorno MatLab.

Entre los parámetros que se pueden calcular a partir del modelo construido por fotogrametría están:

- Desviaciones de la superficie real de la teórica en las coordenadas x, y, z.
- Deformación por gravedad entre diferentes orientaciones del concentrador.
- Desviación angular del vector normal a la superficie en comparación con el vector normal teórico.
- Desviación de los rayos reflejados en la superficie reflectante del módulo en comparación con el foco teórico del concentrador.
- Factor de intercepción.
- (Cálculo de otros parámetros relevantes por solicitud).

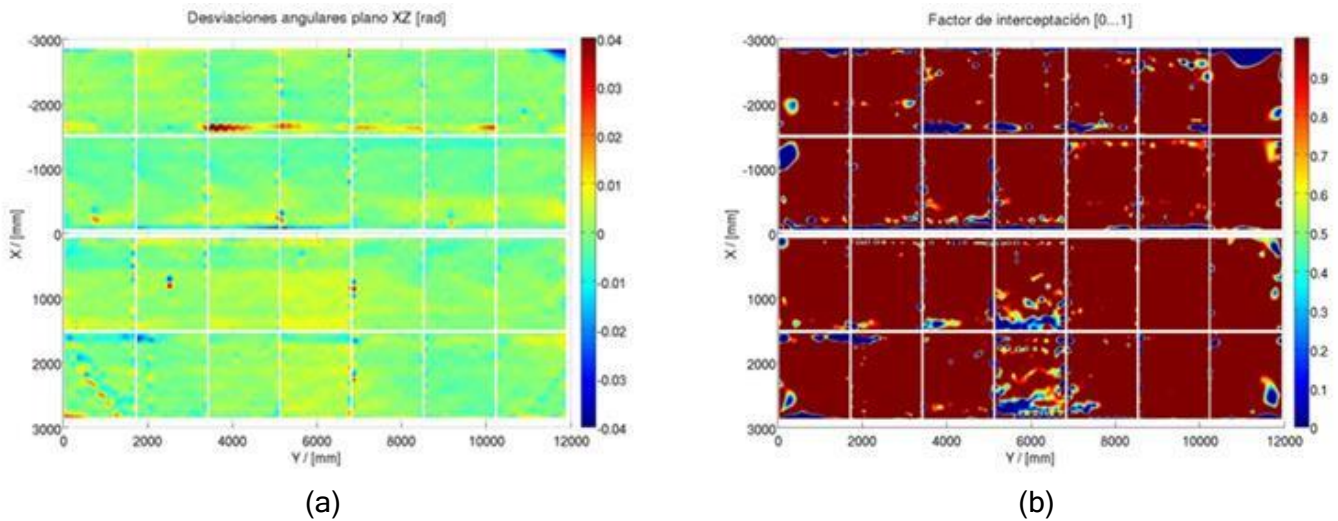


Figura 43. Desviaciones angulares (a) y factor de intercepción (b) de un modulo de captador cilindroparabólico analizado por fotogrametría.

3.2 Laboratorio de caracterización óptica y análisis de durabilidad de reflectores solares - OPAC

El laboratorio de PSA de caracterización óptica y análisis de durabilidad del reflector solar, que es el resultado de un proyecto conjunto de colaboración entre CIEMAT y DLR, cuenta con el equipo necesario para caracterizar completamente los materiales utilizados como reflectores en los sistemas de concentración solar. Este laboratorio permite determinar los parámetros ópticos característicos de los reflectores solares y su posible deterioro. El siguiente equipo está disponible en el laboratorio de caracterización óptica de reflectores solares (ver Figura 46 a):

- Tres reflectómetros especulares portátiles, dispositivos y servicios Modelo 15R-USB, para medir la reflectancia especular a 660 nm en diferentes ángulos de apertura (3.5, 7.5, 12.5 y 23 mrad).
- Un reflectómetro especular portátil, modelo de dispositivos y servicios MWR, para medir la reflectancia especular a 460, 550, 650 y 720 nm y en diferentes ángulos de apertura (2.3, 3.5, 7.5, 12.5 y 23 mrad).
- Prototipo de reflectómetro para medir la reflectancia especular en un diámetro de 5 cm con resolución espacial de 10 píxeles / mm, que mide en varias longitudes de onda y ángulos de apertura (modelo SR2, diseñado y patentado por DLR).
- Espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 1050, con esfera integradora de 150 mm y accesorio de reflectancia especular con ángulos de incidencia de 0 a 68 ° (URA).
- Cámara Nikon D3 y kit Cubalite de 90 cm para fotos de superficies especulares sin reflejos parásitos.
- Microscopio Zeiss Axio modelo CSM 700 (con aumentos de 5, 10, 20, 50 y 100) para encontrar los perfiles y la rugosidad de superficies altamente reflectantes.
- Microscopio de exploración electrónica (SEM) Hitachi S3400 con análisis EDX.
- Sistema de impedancia Parstat 4000 para analizar la corrosión de los materiales reflectores.
- Banco óptico de uso general como accesorio para el espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 1050 con características avanzadas para el montaje de dispositivos ópticos para el desarrollo de nuevos instrumentos de medición.

- Tensiómetro Theta 200 Basic para la evaluación del ángulo de contacto estático y dinámico, que es un parámetro clave para estudiar el rendimiento de los recubrimientos antisuciedad aplicados a los reflectores solares y los tubos receptores

El laboratorio de análisis de durabilidad de reflectores solares está diseñado para ensayos de envejecimiento acelerado de estos materiales con el propósito de predecir en poco tiempo el comportamiento de estos materiales durante su vida útil (ver Figura 46 b). Para hacer esto, las variables ambientales que producen degradación de los reflectores solares cuando se exponen a condiciones exteriores se aplican de manera controlada, tanto por separado como en combinación. El siguiente equipo está disponible para estas pruebas de envejecimiento acelerado:

- Cámara de intemperismo ATLAS SC340MH para temperatura (de -40 a + 120 ° C), humedad (del 10 al 90%), radiación solar (de 280 a 3000 nm) y precipitación de 340L.
- Cámara de pulverización de sal Vötsch VSC450 con temperaturas de 10 a 50 ° C (450L).
- Cámara de niebla salina Erichsen 608 / 1000L con temperaturas de 10 a 50 ° C.
- Dos cámaras de radiación ATLAS UV-Test donde se puede aplicar luz UV (con un pico a 340 ° nm), condensación y temperatura. Una de las cámaras también incluye simulación de lluvia.
- Cámara de radiación ultravioleta Hönle UVA Cube.
- Cámara de lluvia ácida KÖHLER HK300M, 300 L y temperaturas de hasta 70°C y humedad de hasta 100%, para aplicar la prueba de Kesternich.
- Baño de agua calentable SC100, para realizar la prueba de Machu, de acuerdo con la guía Qualitest.
- Cámara de intemperismo Vötsch VCC3 0034 para probar la resistencia del material contra gases corrosivos (335L, ver Fig. X2).
- Cámara de prueba Ineltec CKEST 300 para pruebas de humedad y condensación con temperaturas de hasta 70 ° C (300L).
- Cámara de intemperie Memmert HCP108 para aplicar humedad (20-95%) y temperatura (20-90 ° C con humedad y 20-160 ° C sin humedad).
- Dos hornos de mufla Nabertherm LT 24/12 y LT 40/12.
- Controle la cámara de tormenta de arena Técnica / ITS GmbH con velocidades del viento de hasta 30 m / sy concentraciones de polvo de hasta 2.5 g / m³.
- Dispositivo de abrasión de limpieza Erichsen 494 para probar la degradación debida a los cepillos de limpieza, con varios accesorios de limpieza.
- Taber 5750 abrasivo lineal para verificar la resistencia de los materiales contra la abrasión.
- Probador de corte cruzado Lumakin A-29 para analizar el posible desprendimiento de las capas de pintura.
- Varios dispositivos para ciclos térmicos especialmente diseñados en el PSA

Junto con el equipo instalado en el interior del laboratorio, hay una serie de bancos de ensayo al aire libre para exponer los materiales a las condiciones climáticas al aire libre y comparar su degradación con las que se encuentran en las pruebas de envejecimiento acelerado, para estudiar la efectividad de los recubrimientos especiales y optimizar la estrategia de limpieza y analizar la tasa de suciedad. Además, recientemente se instalaron dos bancos de ensayo de helióstatos, uno para probar la influencia del bloqueo en la vida útil de los recubrimientos y otro para acelerar la degradación de los reflectores debido a la radiación UV en condiciones climáticas exteriores. Finalmente, el laboratorio está equipado con los accesorios necesarios para su uso adecuado, como escalas de precisión, agitador termo magnético, secador, baño ultrasónico para la limpieza de muestras, herramientas para

la preparación de muestras reflectoras (corte y pulido), cabinas de seguridad, instrumentos para medir el pH, conductividad, oxígeno, etc



(a)



(b)

Figura 44. Laboratorio de caracterización óptica del reflector solar OPAC (a) y laboratorio de análisis de durabilidad (b)

3.3 Laboratorio de Radiometría - RadLab

La línea de actividad dedicada a la radiometría surgió de la necesidad de verificar la medición de magnitudes radiométricas altamente importantes asociadas con la concentración solar. Estas magnitudes son la irradiancia solar ("flujo" en la jerga de la concentración solar) y la temperatura de la superficie de los materiales (detección por IR). En el PSA se utilizan diferentes sistemas para medir las altas radiaciones solares en grandes superficies. El elemento básico en estos sistemas es el radiómetro, cuya medición de la potencia de la radiación solar incidente en la apertura del receptor solar depende de su uso adecuado. La medición de esta magnitud es fundamental para determinar la eficiencia de los prototipos de receptores evaluados en el PSA y para definir el diseño de futuras plantas solares de receptor central. La calibración de radiómetros se realiza en hornos específicos para este propósito.



Figura 45. Vista del equipo de radiometría de PSA.

La calibración del radiómetro de referencia es calibración radiante referente a simuladores de cuerpo negro como patrones estándar. La calibración del radiómetro de referencia se transfiere a los sensores comerciales por comparación en un horno de calibración que utiliza una placa de grafito

que se irradia de manera homogénea y simétrica cuando una corriente eléctrica lo atraviesa. La constante de calibración obtenida con este método traduce el voltaje a irradiancia en la cara frontal del sensor. La precisión de los medidores calibrados de esta manera está dentro de $\pm 3\%$ con una repetibilidad de $\pm 1\%$. Se puede utilizar un cuerpo negro como fuente de radiación térmica para referencia y calibración de dispositivos IR (cámaras infrarrojas y pirómetros) que usan radiación térmica como medio para determinar la temperatura de una superficie determinada.

El equipo asociado a esta actividad también incluye tres cuerpos negros utilizados como referencias para calibrar sensores IR dedicados a la medición de temperatura con trazabilidad garantizada entre 0 y 1700 ° C.:

- El cuerpo negro MIKRON 330 es una cavidad cilíndrica que puede proporcionar cualquier temperatura de 300 a 1700 ° C con una precisión de $\pm 0.25\%$ y una resolución de 1 ° C. Su emisividad es de 0.99 en una apertura de 25 mm de diámetro.
- El cuerpo negro MIKRON M305 es una cavidad esférica que puede suministrar cualquier temperatura entre 100 y 1000 ° C con una precisión de $\pm 0.25\%$ y con una resolución de 1 ° C. Su emisividad es 0.995 en un diámetro de 25 mm. abertura.
- El cuerpo negro MIKRON M340 es una cavidad plana y puede proporcionar cualquier temperatura de 0 a 150 ° C con una precisión de ± 0.2 ° C y una resolución de 0.1 ° C. Su emisividad es de 0.99 en una apertura de 51 mm.

Estos cuerpos negros tienen un sistema de control PID incorporado y la temperatura se verifica mediante un termopar de platino de alta precisión.



Figura 46. Sensor de calibración IR utilizando un cuerpo negro.

3.4 Laboratorio para la evaluación de la durabilidad y caracterización de materiales bajo radiación solar concentrada - MaterLab

Esta línea de actividad del laboratorio se centra en el estudio y la evaluación de cómo la radiación solar concentrada afecta el rendimiento y la durabilidad de los materiales. Esto es especialmente importante para los materiales utilizados para los receptores centrales, por lo que requiere un envejecimiento acelerado para estudiar la durabilidad de los componentes más críticos de las plantas de energía solar térmica, no solo los materiales absorbentes, sino también el tratamiento de la superficie y los recubrimientos que aumentan su absorción. Por lo tanto, es necesario descubrir y estudiar los mecanismos de degradación física, fatiga y rotura de estos materiales a altas temperaturas bajo radiación solar concentrada.

El equipo asociado a esta actividad está compuesto por dispositivos ubicados tanto en interiores como en exteriores. Los dispositivos de interior están dedicados a la preparación metalográfica y al análisis de piezas de prueba tratadas con radiación solar concentrada y eventualmente ciclos térmicos para el envejecimiento acelerado, y la caracterización de la prueba solar por termogravimetría. Estos dispositivos se encuentran dentro del edificio de control de los hornos solares y se encuentran en cuatro salas, cada una de ellas dedicada a diferentes tipos de análisis:

- Sala de metalografía
- Sala de microscopio
- Sala de termogravimetría
- Sala de ciclos termicos

Los equipos de laboratorio instalados en estas salas se detallan a continuación:

3.4.1 Sala de metalografía

- Máquina automática de corte: Struers Secotom
- Máquina de corte manual: Remet TR60
- Prensa de montaje: Struers Labopres-3
- Unidad de impregnación al vacío: Struers Epovac
- Pulidora: Tegrapol-15 automática con sistema de dosificación Tegradoser-5
- Pulidora metalográfica 2 placas: LS1 / LS2 (Remet)
- Amoladora: Remet SM1000
- Baño ultrasónico: Selecta Ultrasons-H 75 ° C con calentador
- Armarios de humos: Flores Valles VA 120960 M-010-02
- Fuente de energía programable: Iso-Tech IPS 405 para ataque electroquímico
- Agitador de tamiz analítico: Retsch AS 200 Control (tamices: 20, 10, 5, 2.5 y 1.25 mm y 710, 630, 425, 315, 250, 160, 150, 90, 53 y 32 μ m)
- Cámara digital con mesa de reproducción



Figura 47. Vista de la sala de metalografía en el edificio de hornos solares

3.4.2 Sala de microscopio

- Sistema de metrología de superficie óptica 3D: Leica DCM 3D
- Microscopio óptico Leica DMI 5000 con sistema de adquisición de imágenes Leyca-IM50 y mesa motorizada.
- Microscopio óptico Olympus Union MC 85647.
- Tester de dureza micro Struers Duramin HMV-2 con sistema de visualización y software tester de dureza micro Vickers HMV-AD 3.12.
- tester de dureza manual
- Unidad de medición de acabado superficial ZEISS Surfcom 480 con procesador de datos

- Balanza: Mettler E2001 / MC max 60 kg
- Balanza: Mettler Toledo classic max 320g / min 10mg



(a)



(b)

Figura 48. Vista de a) sala de microscopio, b) Balanza termogravimétrica dentro de su sala.

3.4.3 Sala de termogravimetría

• La balanza termogravimétrica SETSYS Evolution18 TGA, DTA, DSC (rango de temperatura ambiente a 1750 ° C) equipada con un enfriador de recirculación compacto (Julabo FC1600T) y una línea termostática a 200 ° C, con una caja de seguridad para pruebas en presencia de H₂, y adaptada para conectar simultáneamente al equipo un mezclador evaporador controlado y un MicroGC. Esta balanza termogravimétrica tiene diferentes posibilidades de pruebas:

- Tests bajo atmósfera pura de hidrógeno hasta 1750°C
- Tests bajo atmósfera pura de oxígeno
- Tests bajo vapor H₂O con otros gases simultáneamente
- Tests bajo atmósfera corrosiva hasta 1000°C
- Sistema CEM (Sistema de evaporador mezclador controlado) para suministro de vapor.
- Detector de Gas Fijo: Dräger Polytron SE Ex, con Sistema de control Regard 1.

3.4.4 Sala de Ciclo Térmico

Incluye la instrumentación necesaria para ciclos térmicos:

- Dos hornos muffle,
- hornos de alta temperatura,
- una cámara de intemperie,
- un circuito de prueba del receptor volumétrico refrigerado por aire y la instrumentación asociada,
- microscopios ópticos y electrónicos,

Los dispositivos interiores ubicados en las cuatro salas descritas anteriormente se complementan con un microscopio electrónico instalado en su propia sala, que es compartido por las unidades TSA y SCS, y con las siguientes especificaciones.

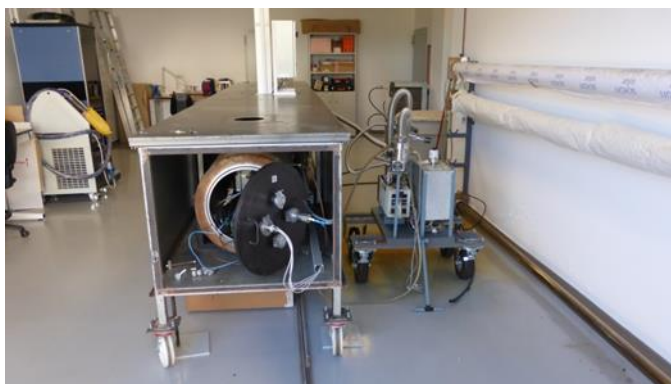
- Microscopio electrónico de barrido (SEM): Hitachi, modelo S-3400N II, alto / bajo vacío, imagen secundaria de electrones, imagen de electrones retrodispersados, etapa de enfriamiento y aumento de 5x a 300.000x.
- Espectrómetro de rayos X dispersivo de energía (EDS) Quantax 400.

Además, la sala SEM también tiene un detector secundario de electrones (ESED), un secador de punto crítico y un pulverizador.

El equipo exterior está compuesto por varios concentradores de placas solares ubicados cerca del edificio de hornos solares de PSA. Estas placas solares se utilizan para el ciclo térmico en condiciones solares reales, con un flujo solar muy alto (hasta 1200 kW / m²) y altas temperaturas (de 200 ° C a 1200 ° C) y están equipadas con diferentes bancos de ensayo para tubos volumétricos y configuración de tubos.

3.5 Ensayos y caracterización de sistemas termosolares de receptores de concentración - SRTLlab

Esta línea de actividad comprende tanto receptores lineales de tipo tubo como receptores volumétricos de aire. El equipo asociado a los receptores lineales está ubicado en el PSA y los dos dispositivos de prueba principales son: a) un banco de pruebas llamado HEATREC (ver Figura 51, a), para medir la pérdida de calor de los tubos receptores individuales en condiciones de laboratorio en interior, y b) un banco de pruebas al aire libre llamado RESOL (ver Figura 51, b), para medir la eficiencia óptica de tubos receptores individuales bajo radiación solar natural. Las mediciones de pérdida de calor se pueden realizar bajo condiciones de vacío para evitar la convección fuera del tubo de vidrio, obteniendo así una temperatura más uniforme a lo largo de la sección del receptor y buscando la pérdida de calor por radiación. Además, es posible determinar la pérdida de calor a diferentes niveles de vacío en el espacio entre el tubo absorbente metálico y la envoltura de vidrio. La emisividad del recubrimiento selectivo puede deducirse de estas medidas. La prueba de eficiencia óptica se realiza evaluando la caída de la temperatura de un fluido (agua) que circula dentro del tubo receptor frente al tiempo durante un intervalo de radiación solar en estado estable cuando las pérdidas de calor son nulas. La eficiencia óptica se calcula a partir de un balance energético del sistema. La prueba proporciona en una medición la eficiencia óptica del receptor, es decir, el valor combinado de la absorbancia y transmitancia del tubo receptor.



(a)



(b)

Figura 49. Vista de la cámara de ensayo HEATREC para medir las pérdidas de calor en tubos receptores (a) y banco de ensayos RESOL para medir la eficiencia óptica de los receptores (b).

El dispositivo HEATREC permite caracterizar las pérdidas de calor de los tubos receptores con un diámetro interno mayor de 62 mm y una longitud de tubo menor de 4.5 m. Se pueden realizar mediciones para la temperatura del absorbedor que varía de 100 ° C a 500 ° C. El vacío en la cámara de prueba se puede configurar hasta alrededor de 10-2 mbar. RESOL está configurado actualmente para medir tubos receptores estándar para canales parabólicos, es decir, tubos de 4060 mm de largo y con un diámetro de tubo absorbente de 70 mm.

Además de HEATREC y RESOL, la línea de actividad dedicada a receptores lineales está equipada con herramientas y dispositivos para la manipulación y monitoreo adecuados de los tubos receptores.

3.6 Laboratorio de Recubrimientos Ópticos Avanzados - OCTALAB

Esta línea de laboratorio se dedica al desarrollo y estudio completo de nuevos recubrimientos selectivos para materiales absorbentes utilizados en sistemas de concentración solar a temperatura media y alta (hasta 700 ° C), así como para tratamientos antirreflectantes para cubiertas de vidrio utilizadas en algunos diseños de receptores, como tubos receptores en captadores cilindroparabólicos. El equipo dedicado a esta línea de actividad es suficiente para caracterizar y evaluar los desarrollos de recubrimientos, y para evaluar el comportamiento de otros tratamientos disponibles en el mercado o desarrollados por otras instituciones públicas o privadas. El equipo asociado a esta línea también puede usarse para la caracterización óptica de reflectores solares, complementando así el equipo específicamente dedicado a la línea de actividad dedicada al ensayo y caracterización de reflectores solares.

A continuación se ofrece un resumen del equipo disponible para recubrimientos ópticos avanzados:

- Espectrofotómetro Perkin Elmer LAMBDA 950.
- Espectrofotómetro FTIR Frontier Perkin-Elmer equipado con una esfera dorada integrada fabricada por Pike.
- Equipo portátil Optosol para caracterización de absorbedor: este equipo mide la absorción solar y la emisión térmica de absorbentes selectivos a 70 ° C, tanto en sustratos planos como en tubos absorbentes. El dispositivo para medir la absorbancia tiene una esfera integradora con dos detectores. Para medir la emisividad, tiene un túnel semicilíndrico que emite radiación infrarroja a 70 ° C.
- Microscopía óptica LEICA DM4 M con sistema de adquisición de imágenes y software para análisis de imágenes.
- Cámara de intemperie QUV, Q-PANEL, para pruebas de envejecimiento acelerado.
- Viscosímetro BROOKFIELD LVDV-I +.
- Perfilómetro BRUKER DektakXT stylus con cámara óptica y software para análisis de superficie
- Goniómetro KSV CAM200 para medir ángulos de contacto.
- Hornos. Hay tres hornos para tratamiento térmico:
 - Horno de 120x100x300 mm con una temperatura máxima de 1200 ° C.
 - Horno de atmósfera controlada con una temperatura máxima de 800 ° C.
 - Horno de convección forzada de 500x400x600 mm con una temperatura máxima de 550 ° C.

3.7 Laboratorio de medios porosos para sistemas de concentración solar - POMELAB

El laboratorio de medios porosos ubicado en CIEMAT-Moncloa (Madrid) comprende tres instalaciones principales y algunas otras técnicas para la caracterización de materiales porosos utilizados para sistemas de receptores centrales con aire como fluido de transferencia de calor.

1) Caracterización térmica de absorbedores volumétricos.

Su componente principal es un banco de pruebas diseñado para ensayos térmicos de nuevos absorbedores volumétricos y configuraciones y su envejecimiento en condiciones estables y dinámicas. Los componentes principales instalados en este banco de pruebas (Figura 52) son:

- Un simulador solar de 4 kWe compuesto por una lámpara de xenón y un concentrador parabólico que puede alcanzar flujos de hasta 1500 kW / m^2 ;
- Subsistema del receptor: con 24 termopares tipo K, 2 termopares de superficie y una cámara infrarroja;
- Subsistema de intercambiador de calor aire-agua helicoidal: con 4 sensores PT100, una medida de velocidad del caudal de masa de agua, una bomba de agua y 2 termopares de superficie; y
- Sistema de extracción: con 1 termopar tipo k, 1 sensor PT100, una medida de velocidad del caudal de masa de aire y un soplador de aire.
- Este banco de pruebas tiene la flexibilidad de estudiar el coeficiente de extinción de diferentes medios, que puede usarse como una herramienta para aproximar el análisis de radiación en medios semitransparentes siguiendo la ley de Bouger.

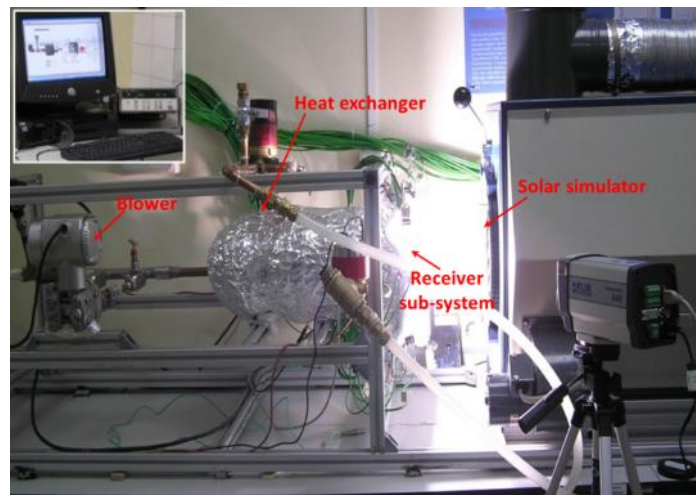


Figura 50. Banco de ensayos para receptores volumétricos

2) Evaluación térmica de lechos porosos en sistemas regenerativos

La instalación anterior se complementa con una instalación interior para estudiar materiales de almacenamiento térmico para alta temperatura utilizando aire como fluido de transferencia de calor. Esta instalación está compuesta por un banco de prueba de almacenamiento de termoclina de aproximadamente 0.1 m^3 como circuito experimental para la caracterización térmica estática y dinámica de lechos porosos. El sistema consta de:

- Seis resistencias de calor con una potencia total de 15000 vatios de energía eléctrica capaz de calentar el aire hasta una temperatura objetivo (la temperatura máxima limitada por la resistencia es de $1000 \text{ }^\circ\text{C}$) por medio de un controlador de temperatura.
- Para medir la temperatura del material se utilizan 35 unidades de termopares tipo K de 400 mm de largo. El comportamiento del tanque se mide en 7 niveles con 5 mediciones en cada nivel.

- Para medir la temperatura de salida del recipiente se utilizan 35 unidades de termopares de tipo T con el fin de calcular las pérdidas térmicas al medio ambiente.
- Con una medición eléctrica trifásica, se registra el consumo de energía total para que coincida con los equilibrios de energía y las pérdidas de calor.

Además, el mapeo de la temperatura de la superficie externa es registrado por una cámara termográfica, que ofrece una imagen completa del chasis externo del tanque.

Las dos configuraciones posibles de este banco de pruebas son (Figura 53):

- Configuración estática: el lazo experimental permite la caracterización de parámetros termofísicos efectivos del lecho; conductividad térmica del material, pérdidas térmicas, energía almacenada, etc. para diferentes materiales de relleno.
- Configuración dinámica: el lazo experimental permite una caracterización ágil del almacenamiento global a diferentes temperaturas de trabajo, materiales de relleno, estrategias de carga y descarga, etc.

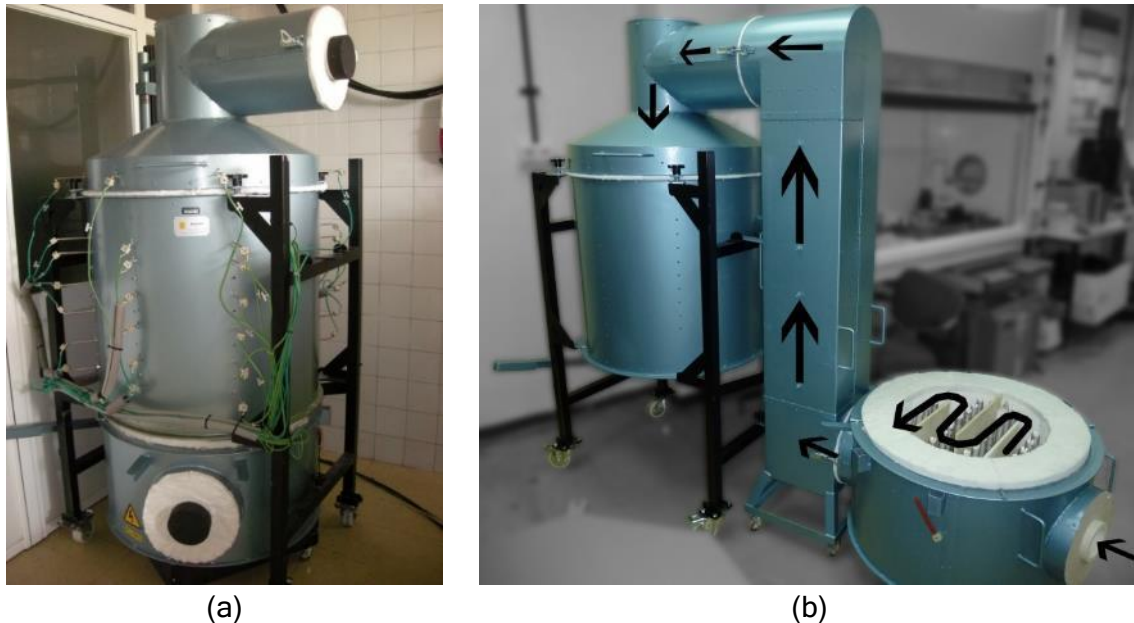


Figura 51. Banco de ensayos para caracterización de lechos porosos. Configuración estática. (a), configuración dinámica (b).

3) Medida de caída de presión hasta 300°C

Esta instalación mide la diferencia de presión entre materiales porosos, como absorbentes volumétricos o materiales de relleno, para diferentes velocidades de fluido. Además, es capaz de medir la diferencia de presión a temperatura ambiente y para temperaturas del aire hasta 300 ° C.

Por tanto se derivan las principales propiedades descritas por la extensión de Forchheimer a la ley de Darcy: coeficiente de permeabilidad viscosa y coeficiente de permeabilidad inercial. Los componentes principales son:

- Soplador Sodeca con control de velocidad.
- Válvula de bola Hastinik de 1 ½".
- anemómetro de caudal de aire

- resistencia de calor Nabertherm
- Medidor de diferencia de presión Honeywell

Además, se han desarrollado diferentes técnicas para la evaluación y medición de varios parámetros geométricos importantes de materiales porosos, como la porosidad y el área de superficie específica.

3.8 Laboratorio para la evaluación de materiales y componentes para circuitos de sales fundidas - BES

Las sales fundidas se están convirtiendo no solo en un medio de almacenamiento térmico estándar, sino también en un fluido de trabajo para las plantas solares receptoras centrales. Sin embargo, todavía hay preguntas abiertas con respecto a la durabilidad de los componentes y materiales actualmente disponibles en el mercado para los circuitos de sal fundida. Teniendo esto en cuenta, se implementó una línea de actividad específica en el laboratorio de la Unidad de Concentración del Sistema Solar para este propósito. El equipo asociado a esta actividad se instala en interiores en PSA y está compuesto por dos bancos de prueba, BES-I y BES-II (Figura 54) especialmente diseñados y fabricados para:

- Validación y verificación de diferentes tipos de válvulas para su uso en lazos de sal fundida. Se pueden ofrecer varias pruebas, como prueba de fugas, ensayos de validez para condiciones de diseño, ensayos de zona fría y ensayos de vida útil de la empaquetadura.
- La validación y verificación de diferentes tipos de transmisores de presión para su uso en circuitos de sal fundida. Se pueden ofrecer varias pruebas, como la prueba de presión constante y la prueba de variación de presión.
- La validación de otros componentes y equipos auxiliares (trazado de calor, aislamiento, etc.) para su uso en bucles de sal fundida. Los componentes con un diámetro nominal de 2 "a 6" se pueden evaluar en estos bancos de prueba.

Estas pruebas se llevan a cabo en condiciones reales de trabajo de hasta 600 ° C y 40 bar.

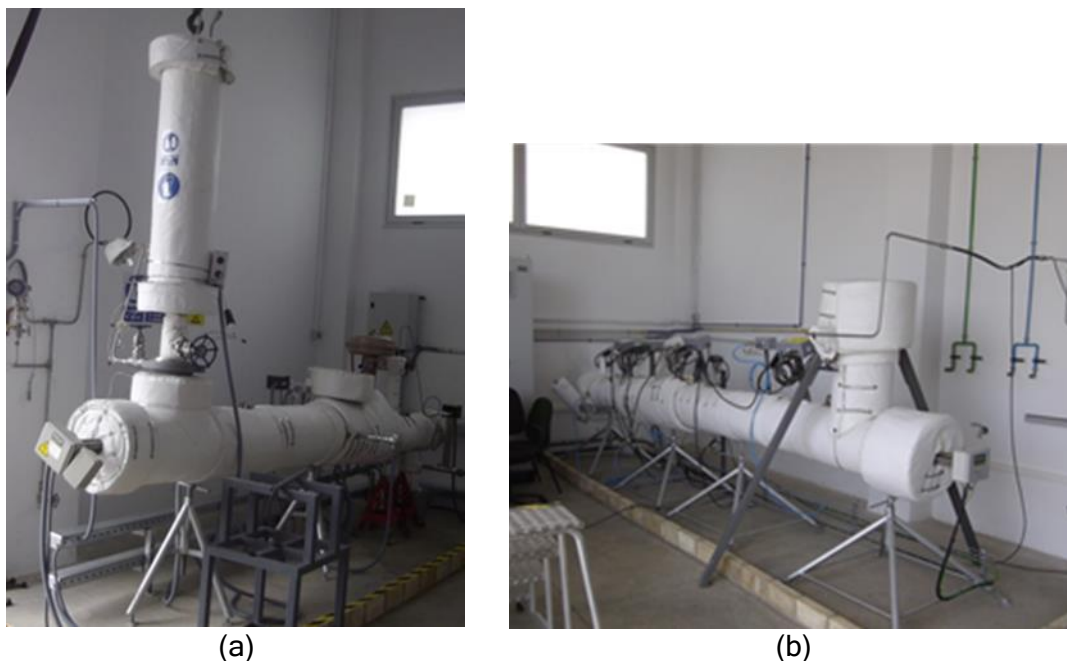


Figura 52. Bancos de ensayo BES-I (a) y BES-II (b) para la evaluación de componentes de sales fundidas.

3.9 Laboratorio para la evaluación de materiales para sistemas de almacenamiento térmico ATYCOS

El rendimiento de los materiales de cambio de fase (PCM) para el almacenamiento latente generalmente se evalúa con calorimetría diferencial de barrido (DSC) o técnicas de historia T. Sin embargo, es importante verificar su comportamiento en condiciones de servicio para asegurar su viabilidad como medio de almacenamiento. Para este propósito, este laboratorio tiene tres configuraciones: dispositivos HDR y AgH, donde se prueba el PCM en aire atmosférico, y SUBMA donde se prueba el PCM en atmósferas inertes. Las características principales de estos dispositivos son las siguientes:

HDR:

- Pequeño horno bajo atmósfera de aire ambiente
- Control preciso de las velocidades de calentamiento / enfriamiento
- Monitorizado de temperatura de muestra
- Permite ciclos de fusión / congelación de hasta 500°C
- Ciclos posteriores o ciclos con períodos de espera
- Tamaño de muestra: 2-5 g



Figura 53. Equipo HDR.

SUBMA:

- Pequeño dispositivo cerrado dentro de un horno
- Permite pruebas en atmósfera inerte (N₂, Ar)
- Temperatura del horno y control de caudal de gas.
- Monitorizado de temperatura de muestra
- Permite ciclos de fusión / congelación de hasta 500°C.
- Ciclos posteriores o ciclos con períodos de espera
- Tamaño de muestra: 30-40 g



Figura 54. Equipo SUBMA.

AgH:

- Horno bajo atmósfera de aire ambiente
- Control preciso de calefacción y refrigeración.
- Permite ciclos de fusión / congelación de hasta 350°C.
- Ciclos posteriores o ciclos con períodos de espera
- Tamaño de muestra: 10-20 g



Figura 55. Equipo AgH.

3.10 Laboratorio para la caracterización de materiales para la producción de combustibles solares

Algunas actividades específicas se estudian en el laboratorio del Grupo de Combustibles Solares para apoyar a escala de laboratorio las actividades de I + D del PSA relacionadas con el hidrógeno

solar. Estas actividades incluyen los siguientes temas: (1) Explorar nuevos materiales como candidatos para ciclos termoquímicos y (2) Desarrollo de reactores solares innovadores como reactores de lecho fluidizado.

En la primera categoría, se prevén algunas actividades específicas, que incluyen nuevos materiales que mejoran la cinética y reducen las temperaturas de trabajo de los materiales actuales utilizados en los ciclos termoquímicos. Estos materiales se sintetizan en el laboratorio (o se compran en el mercado) y se analizan para determinar los ciclos termoquímicos en diferentes condiciones de reacción.

Para la caracterización del material, se encuentra disponible un circuito versátil de horno eléctrico en el Laboratorio de Hidrógeno Solar de CIEMAT que se muestra en la Figura 58. El laboratorio está equipado con la instrumentación necesaria para la evaluación de procesos innovadores para la producción de hidrógeno. Horno tubular horizontal: horno de alta temperatura con una temperatura de funcionamiento máxima de 1600 ° C, adecuado para una variedad de aplicaciones de laboratorio y piloto; junto con un cromatógrafo de gases (Varian CP4900) equipado con una columna de tamiz molecular y un detector TCD, etc.

Además, para calificar estos materiales, es de suma importancia evaluar el daño inducido por el choque térmico en ciclos consecutivos. Para este propósito, los materiales se someten a calentamiento por ciclos en condiciones bien controladas. Se pueden identificar varias propiedades físico-térmicas, mecánicas y químicas importantes de los materiales relevantes al evaluar la influencia de los tratamientos sobre un sustrato sólido.



Figura 56. Lazo interior de simulación para la evaluación de materiales para ciclos termoquímicos.

Para fines especiales, algunos otros equipos están disponibles para completar la caracterización de estos materiales: un equipo termogravimétrico STA 449 F1 para análisis simultáneo TGA-DSC. Este equipo tiene dos hornos intercambiables: un SiC para reacción a alta temperatura (1600 ° C) y horno de vapor de agua hasta 1200 ° C. Finalmente, se encuentra disponible un horno de temperatura perfectamente adecuado para el ciclado de los materiales candidatos. Este horno tiene elementos de calentamiento especiales hechos de disilicida de molibdeno que proporcionan temperaturas de

aproximadamente 1650 ° C con un control de temperatura preciso, también en el rango de temperatura más bajo

3.11 Laboratorio para la cualificación de procesos endotérmicos industriales utilizando tecnologías de concentración solar.

Para la cualificación de procesos endotérmicos industriales, se ha diseñado y ensamblado un banco de investigación. El reactor fue diseñado para operar en el horno solar de 60kW en la Plataforma Solar de Almería (PSA). Se realizan pruebas para avanzar en nuevos conceptos de reactores solares a través del desarrollo de reactores solares innovadores como reactores de lecho fluidizado. Como la única forma de introducir radiación solar concentrada en un lecho fluidizado de baja expansión es desde la parte superior, se debe proporcionar un haz vertical. Para el dispositivo de prueba, vea la Figura 59, esto se hace con un espejo enfriado por agua con una inclinación de 45 ° ubicado cerca del foco.

Los lechos fluidizados como reactores químicos presentan varias ventajas que incluyen una alta tasa de transferencia de calor y masa, bajas caídas de presión y una distribución uniforme de la temperatura. Este concepto se está aplicando para el desarrollo y prueba de un reactor de lecho fluidizado alimentado por energía solar para la extracción de oxígeno del regolito lunar. Esto se hace mediante la reducción de un componente del suelo lunar, la ilmenita (FeTiO_3), con hidrógeno, y la posterior electrólisis del agua obtenida.

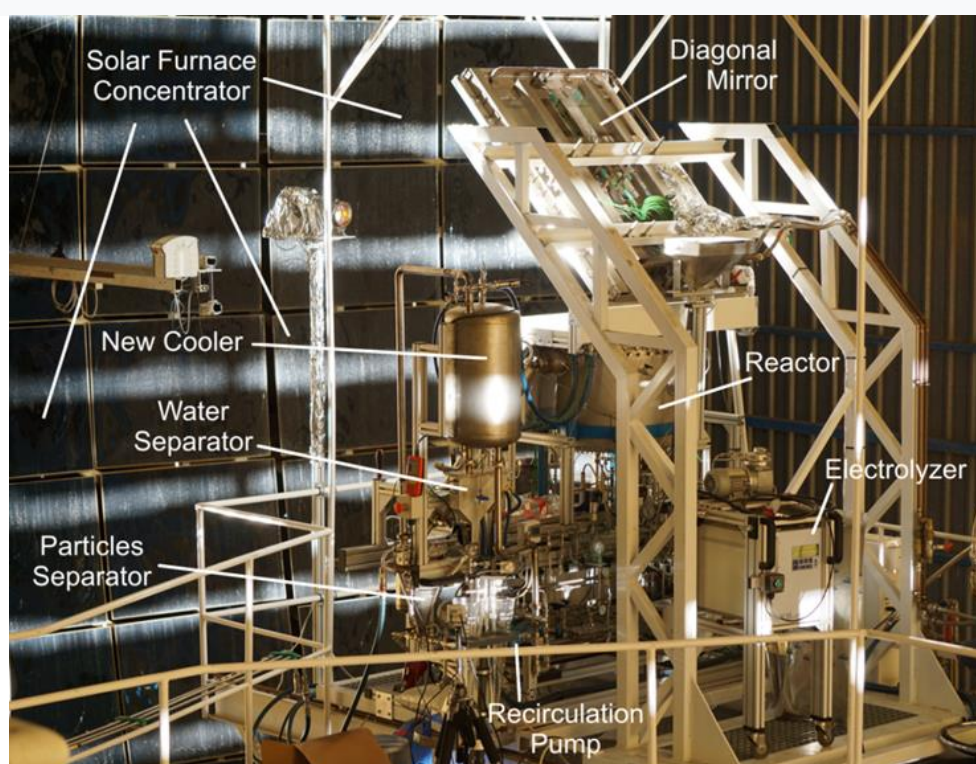


Figura 57. Ensayos de la planta Alchemist en un horno solar para producir oxígeno a partir de regolita.

El objetivo general de estas pruebas es mejorar la comprensión de la hidrodinámica del lecho fluidizado al completar los siguientes objetivos:

- Identificar la demanda de caudal de gas del lecho fluidizado principal en el reactor en función de la temperatura.

- Operar el reactor a 900 ° C únicamente calentado con energía solar concentrada.
- Demostrar la producción de agua de la reacción de la ilmenita con hidrógeno.

3.12 Laboratorio de Tecnologías de Agua PSA - WATLAB

Dentro del alcance del Proyecto SolarNova financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación dentro del Fondo Especial del Estado para la Dinamización de la Economía y el Empleo (Plan E), se construyó un nuevo laboratorio en 2009. Desde entonces, se han realizado adquisiciones de nueva instrumentación dentro del Proyecto SolarNova. El laboratorio de tecnologías de agua PSA consta de 200 m² distribuidos en seis salas: dos salas para almacenamiento de productos químicos y otros consumibles. Es un almacén de 30 m². Está organizado en estanterías de acero inoxidable numeradas y etiquetadas con refrigeradores y congeladores para el mantenimiento de muestras y estándares; ii) una oficina de 17 m² con tres puestos de trabajo donde los investigadores visitantes pueden analizar los datos de los experimentos realizados en PSA. Además, 4 salas técnicas también forman parte del laboratorio y se enumeran y describen a continuación:

- laboratorio general
- Laboratorio de cromatografía.
- laboratorio de microbiología
- Laboratorio de microscopía.

3.12.1 Laboratorio general

El laboratorio principal es de 94 m² (Figura 60). Está equipado con cuatro grandes bancos de trabajo, dos campanas de extracción de gas, un calentador, un horno, baño ultrasónico, tres centrifugadoras, dos espectrómetros UV / visibles, un sistema de destilación al vacío, un sistema de agua ultrapura, un medidor de pH y un medidor de conductividad, y precisión -escala mesa. Además, tiene un sistema centralizado de distribución de gas, UPS, conexión de enchufes de tres clavijas y sistemas de seguridad (extintores, ducha, lavaojos, etc.). El laboratorio también está equipado con Vibrio fischeri y dispositivos de medición de toxicidad de respirometría de lodo activado, medición de biodegradabilidad por dos respirómetros para lodo activado suspendido y para lodo activado inmovilizado, y equipos para el análisis de DBO y DQO. Sistema Jar-Test para la optimización de la separación de sólidos para el tratamiento de aguas.



Figura 58. Vista general del Nuevo laboratorio de tecnologías de agua de PSA

3.12.2 Laboratorio de Cromatografía

Este laboratorio está equipado con tres cromatógrafos de líquidos de alto rendimiento con detector de matriz de diodos (HPLC-DAD y dos UPLC-DAD) con bomba cuaternaria e inyección automática; una extracción automática en fase sólida (ASPEC) que permite trabajar con baja concentración de contaminantes y dos cromatógrafos iónicos: uno configurado para el análisis isocrático de aminas y cationes (Metrohm 850 Professional IC), y otro para el análisis de gradiente de aniones y ácidos carboxílicos (Metrohm 872 Extension Module 1 y 2) con detectores de conductividad (detector Metrohm 850 Professional IC). También se incluyen dos analizadores de carbono orgánico total (TOC) por combustión catalítica a 670 ° C y un analizador de nitrógeno total (TN) con automuestreador. Además, se adquirió un AB SCIEX TripleTOF 5600+ para detectar e identificar contaminantes no específicos o desconocidos presentes en las aguas residuales o generados (productos de transformación) durante los tratamientos de agua: Triple TOF por una fuente DuoSpray que combina modos Turbo Ion Spray y APCI (Presión atmosférica Ionización química). Además, el sistema incluye un paquete estadístico de metabolómica para analizar múltiples muestras de múltiples experimentos e identificar posibles marcadores químicos y biológicos.

3.12.3 Laboratorio de microbiología

Un laboratorio de microbiología de 47 m² con nivel de bioseguridad 2 está equipado con cuatro cabinas microbiológicas de caudal laminar (clase II), dos autoclaves, tres incubadoras, una combinación de fluorescencia y contraste de fase. Microscopio óptico con cámara digital adjunta. Además, hay disponible un preparador automático de medios de cultivo y relleno de placa y una rampa de filtración con tres posiciones. Este laboratorio también está equipado con un equipo de PCR cuantitativa ultrarrápida en tiempo real (reacción en cadena de la polimerasa), fluorospectrómetro y espectrofotómetro NanoDrop para la cuantificación genética de microvolúmenes. También se adquirió un 'Fast Prep 24', un homogeneizador de sobremesa de alta velocidad para la lisis de muestras biológicas, necesario para análisis posteriores de muestras de material genético. El equipo del homogeneizador stomacher 400 Comecta se adquirió para mezclar muestras de alimentos, la agitación y el almacenamiento es una forma reproducible sin ningún riesgo de contaminación cruzada entre las muestras.

3.12.4 Laboratorio de microscopía

El laboratorio de microscopía tiene una sala de 11 m² (Figura 61.a). Un microscopio electrónico de barrido (SEM) se encuentra en esta sala. Para la preparación de muestras microbiológicas y catalizadores para ser analizados en el SEM, el sistema se completa con una capa de metal y un secador de punto crítico. En esta sala también se ubican dos microscopios ópticos: i) un microscopio óptico de combinación de fluorescencia y contraste de fase y ii) microscopio FISH (Leyca) con módulo de fluorescencia para desarrollar la técnica FISH (hibridación fluorescente in situ) para la visualización de la hibridación de ADN con probetas específicas en células vivas utilizadas para el monitoreo de microorganismos clave dentro de una población heterogénea (Figura 61.b). Además, el sistema se completa con una estación para documentación fotográfica, que consiste en un iluminador trans-UV para detectar y visualizar ADN, ARN y proteínas. También incluye una estación de documentación con una cámara para tomar imágenes de ADN, ARN y proteínas.

3.13 Red radiométrica PSA

PSA ha tenido una estación meteorológica desde 1988, principalmente para medir la radiación solar integral (radiación global, directa y difusa), pero también para otras variables meteorológicas genéricas (temperatura, velocidad y dirección del viento, humedad relativa y presión atmosférica, precipitación acumulada, etc.). La antigua estación fue completamente remodelada en 2005 siguiendo los requisitos más estrictos de calidad y precisión en la medición de la radiación solar de acuerdo con las pautas de la Red de Radiación de Superficie de Base. Esta estación se llama estación METAS desde 2012 (Figura 62).



(a)



(b)

Figura 59. a) SEM (Microscopio electrónico de escaneo). b) Microscopio óptico para técnica FISH.



Figura 60. Vista general de la nueva estación radiométrica PSA.

Los instrumentos de la estación METAS están en el rango más alto de medición de radiación solar. Todos los sensores de radiación tienen calefacción y ventilación y tienen un sensor de medición de temperatura. Este equipo proporciona la mejor información sobre radiación solar y variables atmosféricas más generales, y puede usarse para filtrar datos de entrada y validar modelos espectrales. Se usan para :

- Medición del balance de radiación terrestre. La radiación entrante y saliente de onda corta y onda larga se mide a 30 m.
- Caracterización de componentes de radiación solar: (global, directa y difusa)
- bandas espectrales UV y PAR
- Perfil de viento vertical: velocidad y dirección del viento a 2, 10 y 30 m.

- Perfil vertical de temperatura y humedad a 2 y 10 m.

Además, se ha instalado un conjunto de estructuras complementarias para la calibración de radiómetros cerca de esta estación meteorológica siguiendo los procedimientos internacionales estandarizados (ISO-9059 e ISO-9846). Por un lado, se ha instalado un rastreador de alto rendimiento con la posibilidad de transportar 2 pireheliómetros de referencia (radiómetro de cavidad absoluta PMOD PMO6-CC) y un total de 19 pireheliómetros de campo cerca de METAS; por otro lado, se han colocado 3 bancos de calibración con capacidad para transportar 20 piranómetros cada uno a 50 metros de METAS (Figura 63). Estas instalaciones se operan en colaboración con la Unidad de Instrumentación.



Figura 61. Instalaciones de calibración.

Desde principios de 2018, hay siete nuevas estaciones radiométricas completamente operativas en todo el área de PSA. Estas estaciones están equipadas con piranómetros y pireheliómetros de primera clase, seguidores solares de 2 ejes y tienen sistemas de adquisición de datos Campbell CR1000 (METAS tiene un CR3000).

Estas ocho estaciones, que constituyen la red radiométrica del PSA (Figura 64), se registran sincrónicamente a 1 segundo y 1 minuto. Todos los datos registrados se almacenan en un sistema de gestión de bases de datos relacionales que permitirá el acceso a los datos de radiación solar registrados a través de una plataforma web (en construcción). Así, la homogeneización de los procedimientos como medida, adquisición de datos, control de calidad, almacenamiento y tratamiento están incluidos en los objetivos



Figura 62. Estaciones radiometricas PSA