

APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR MEDIANTE EL USO DE PARTÍCULAS

HOY EN DÍA, ES NECESARIO MEJORAR LA EFICIENCIA Y LA SEGURIDAD DE LAS PLANTAS TERMOSOLARES PARA PRODUCIR ELECTRICIDAD DE FORMA MÁS COMPETITIVA, SIENDO EL FLUIDO DE TRANSFERENCIA DE CALOR UNO DE LOS FACTORES LIMITANTES DE LAS PLANTAS TERMOSOLARES ACTUALES. MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UNA SUSPENSIÓN DE PARTÍCULAS, UN GRUPO DE CIENTÍFICOS, FINANCIADO POR LA UNIÓN EUROPEA, HA CONSEGUIDO SUPERAR LOS LÍMITES DE TEMPERATURA DE LAS SALES FUNDIDAS, MATERIAL UTILIZADO EN LA TECNOLOGÍA SOLAR TERMOELÉCTRICA ACTUAL.

El proyecto CSP2 “Concentrated Solar in Particles”, financiado por la Unión Europea, tiene como objetivo la utilización de una suspensión densa de gas y partículas como fluido caloportador innovador, que alcanza temperaturas superiores a 550 °C. La fase sólida está formada por partículas de cualquier tipo de mineral capaces de soportar altas temperaturas. Gracias a su elevada capacidad calorífica, las partículas sólidas también se pueden utilizar como medio de almacenamiento de energía.

En comparación con los fluidos caloportadores estándar, las partículas sólidas presentan ventajas en cuanto a seguridad e impacto medioambiental se refiere, además la producción de partículas en grandes cantidades se realiza fácilmente y a bajo coste sin necesidad de utilizar procesos químicos. La utilización de partículas sólidas en un receptor solar, solución propuesta por el proyecto CSP2, es una alternativa a los fluidos de transferencia de calor líquidos o gaseosos hasta ahora utilizados. Dado que a temperaturas elevadas se requiere menos cantidad de fluido de transferencia de calor, la utilización de una suspensión de partículas en una planta termosolar conduce a una reducción de costes.

El objetivo general del proyecto es calcular el rendimiento de un receptor a escala piloto con capacidad térmica de 100-150 kW. Los investigadores han realizado modelos de la transferencia de calor y del flujo de fluido de la suspensión gas-partículas, tanto para tubos individuales, como para un receptor solar completo. En el marco del proyecto, se han realizado experimentos en dos receptores solares a escala de laboratorio: en el primero, un receptor de un solo tubo, las partículas alcanzaron temperaturas de 750 °C (con precalentamiento a 500 °C); y en el segundo dispositivo, un receptor completo compuesto de 16 tubos, se consiguió una circulación continua en circuito cerrado durante 8 horas, utilizando un caudal de partículas de 0,6 a 1,8 t/h.

Actualmente, se están realizando estudios para aumentar el tamaño del piloto a escala industrial. El modelo de ingeniería ha pronosticado



Receptor de la planta solar piloto CSP2 en el CNRS | CSP2 pilot solar receiver at CNRS

SOLID PARTICLES TO HARNESS THE SUN'S ENERGY

TO PRODUCE ELECTRICITY ON A MORE COMPETITIVE BASIS TODAY, THE EFFICIENCY AND SAFETY OF CSP PLANTS HAVE TO BE IMPROVED. A LIMITING FACTOR OF EXISTING CSP PLANTS IS THE HEAT TRANSFER FLUID (HTF). EU-FUNDED SCIENTISTS ARE PUSHING BACK THE LIMITS OF CONVENTIONAL MOLTEN SALTS IN CURRENT SOLAR TECHNOLOGIES WITH A PARTICLE SUSPENSION THAT CAN CAPTURE AND STORE HEAT AT HIGHER TEMPERATURES.

The aim of the EU-funded project CSP2 “Concentrated Solar Power in Particles” is to use a dense gas-particle suspension (DPS) as an innovative HTF that allows working temperatures higher than 550°C. The solid phase consists of any particulate mineral that withstands high temperatures. The solid particles can also be used as a thermal energy storage medium due to their high heat capacity.

Compared to standard HTFs, the particulate solid material has advantages regarding environmental impact and safety concerns. Moreover large quantities of the particles can be easily produced at low cost with no need to use any chemical processes. The CSP2's solution of using solid particles in a solar receiver is a radical alternative to the hitherto-used liquid or gas HTFs. Given that elevated temperatures require less heat transfer fluid, the use of particle suspension in a CSP plant leads to costs reduction.

The project's overall goal is to demonstrate the performance of a pilot-scale receiver with 100–150 kW thermal capacity. Researchers have modelled heat transfer and fluid flow of the gas-particle suspension in individual tubes and in a complete solar receiver. Within the project framework, lab-scale experiments have been carried out on two solar receivers: the first, a one-tube solar receiver, particles were heated up to 750°C (with preheating at 500°C); and the second, a complete receiver comprising 16 tubes, achieving continuous circulation in closed circuit over 8 hours, using a particle flow rate of 0.6 to 1.8 t/h.

Scale-up studies from pilot to industrial level are currently being carried out. The engineering model has predicted a good thermal performance for a CSP plant with 10-50 MW thermal capacity and with efficiency exceeding 70%. The environmental impact assessment study is ongoing and has to date shown that particle attrition is very low.

During the experimental campaign with the one-tube solar receiver in June 2014, the PROMES-CNRS team achieved one of the CSP2 project objectives: to heat circulating particles up to 750°C (with preheating at 500°C), in other words, 200°C higher than the temperature limit of current heat transfer fluids.

The 150 kWth solar receiver: steady operation achieved

The 150 kWth pilot plant was designed and built including all the components of a solar power plant. Small particles in air suspension, situated in the feeder tank, are heated as they pass through the solar receiver composed of 16 1m-high vertical tubes. They then circulate in closed loop to a hot storage silo, then through a heat exchanger (equivalent to industrial-scale vapour production), a cold storage silo, and back again into the feeder tank.

un buen rendimiento térmico para una planta con una capacidad térmica de 10 a 50 MW y una eficiencia superior al 80%. El estudio de evaluación de impacto ambiental está en curso y hasta la fecha ha demostrado que el desgaste de las partículas es muy bajo.

Durante la campaña experimental con el receptor solar mono-tubo, en junio de 2014, el equipo PROMES-CNRS logró uno de los objetivos del proyecto CSP2: calentar las partículas hasta 750 °C (con precalentamiento a 500 °C); es decir, 200 °C por encima del límite de temperatura de los fluidos de transferencia de calor actuales.

El receptor solar de 150 kWth: circulación en estado estacionario

La planta piloto de 150 kWth fue diseñada y construida incluyendo todos los componentes de una planta de energía solar. La suspensión aire-partículas finas, situada en el tanque de alimentación, se calienta a su paso por el receptor solar compuesto por 16 tubos verticales de 1 m de alto, posteriormente pasan en circuito cerrado a un tanque de almacenamiento caliente, a continuación pasan a un intercambiador de calor (equivalente al generador de vapor en la escala industrial), después a un tanque de almacenamiento en frío, y finalmente vuelven al tanque de alimentación.

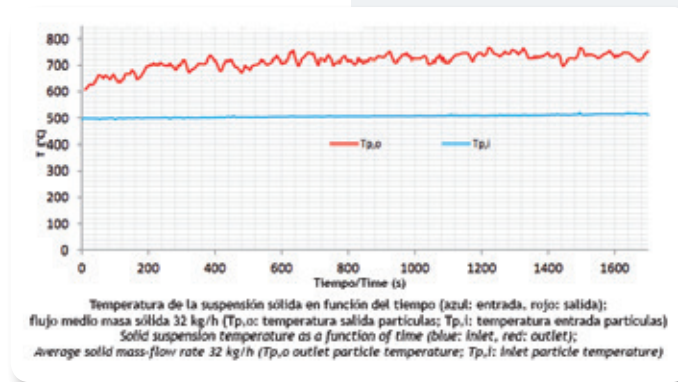
Los ensayos bajo irradiación solar se han llevado a cabo en el horno solar de 1 MW del CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique), en Odeillo-Font Romeu. Se han realizado experimentos por más de 100 horas en total, incluyendo varios días completos de operación. Los experimentos se han realizado bajo diferentes condiciones de densidad de flujo solar y a diferentes caudales máxicos. El caudal del sólido se hizo variar de 0,6 t/h a 1,8 t/h y la energía solar en la apertura del receptor se situó entre 75 y 150 kW.

Se han alcanzado temperaturas de partícula de hasta 589°C, y un aumento de temperatura de entre 150 y 340°C en un metro de tubo. La eficiencia del receptor térmico (η) varió de 70 a 90% en el rango de caudal máxico de sólido explorado. En líneas generales, se han obtenido resultados experimentales de la temperatura de salida de partículas, de la eficiencia térmica del receptor y de la respuesta dinámica del sistema a variaciones de caudal de sólido o de potencia solar.

Proyecto SFERA II

El proyecto de investigación SFERA II, financiado por la UE, tiene como objetivo impulsar la colaboración científica entre las instituciones de investigación europeas líderes en sistemas de concentración solar, ofreciendo acceso a los sectores de investigación y de industria europeos a algunas de las mejores infraestructuras de ensayos y de investigación. El proyecto incorpora las siguientes actividades:

- Acceso transnacional: los investigadores tendrán acceso de forma gratuita a cinco instalaciones de investigación de alto flujo solar de última generación, únicas en Europa y el mundo.
- Red de contactos: esto incluye la organización de cursos de formación para la industria, escuelas de verano para el público en general, coloquios doctorales, etc. El objetivo es crear un marco común de formación y proporcionar las habilidades necesarias a los investigadores para la operación de instalaciones solares de concentración.



On-sun tests have been carried out at the CNRS, the French National Centre for Scientific Research, 1 MW solar furnace at Odeillo-Font Romeu. Experiments were run for a total of more than 100 hours, with several full days of operation. Various solid mass flow rates and solar flux density conditions were also tested. The mass flow

rate ranged from 0.6 T/h to 1.8 T/h and the solar power at the receiver aperture varied from 75 to 150 kW.

Particle temperatures of up to 590 °C and a temperature increase of 150-340°C were obtained in the 1m tubes. The receiver thermal efficiency (η) varied from 70 to 90% in the explored solid mass flow rate range. Overall, experimental results on particle outlet temperature, dynamic response of the system to solid mass flow rate and solar power variations, and receiver thermal efficiency were obtained.

SFERA II project

The EU-funded research project SFERA II aims to boost scientific collaboration among the leading European research institutions in solar concentrating systems, offering European research and industry access to some of the best research and test infrastructures. The project incorporates the following activities:

- Transnational access: researchers will have access free of charge to five state-of-the-art high-flux solar research facilities, unique in Europe and in the world.
- Networking: this includes the organisation of training courses for industry, summer schools for the general public, doctoral colloquia, etc. The aim is to create a common training framework and provide the researchers with the necessary skills to operate CSP facilities.
- The Joint Research Activities aim to improve the quality and service of the existing infrastructure, extend their services and jointly achieve a common level of high scientific quality.

Five SFERA II Partners, PSA-CIEMAT, PROMES-CNRS, PSI, ENEA and CIESOL, will provide access to their solar research facilities free of charge. This opportunity enables high-quality research to be carried out in the following areas:

- Solar thermal electricity generation: thermodynamic cycles, receivers, thermal storage, concentrating optics, control algorithms, etc.
- Solar production of chemical energy carriers: H₂, Syngas, etc.
- Cycles for chemical storage of solar energy: ZnO, etc.
- Solar water treatment: desalination, disinfection, detoxification
- Research in basic phenomena and nano-material production processes: fullerenes, C-nanotubes, ceramics, etc.
- High-added-value material synthesis: ceramics, glass, etc.
- High-flux photochemistry and photo-physics
- Basic knowledge of materials behaviour and ageing under extreme conditions.

PSA is offering access to the following facilities: Central Receiver System (CRS, tower with a north field of heliostats, 200-350 kW); solar furnaces (60 kW and 5 kW); parabolic

- Las Actividades de Investigación Conjuntas tienen como objetivo mejorar la calidad y el servicio de la infraestructura existente, ampliar sus servicios y lograr conjuntamente un nivel común de alta calidad científica.

Los cinco socios de SFERA II: PSA-CIEMAT, PROMES-CNRS, PSI, ENEA y CIESOL proporcionarán acceso gratuito a sus instalaciones solares de investigación. Esta oportunidad permite realizar investigación de alta calidad en las siguientes áreas:

- Generación eléctrica termosolar: ciclos termodinámicos, receptores, almacenamiento térmico, óptica de concentración, algoritmos de control, etc.
- Producción solar de vectores energéticos químicos: H₂, gas de síntesis, etc.
- Ciclos para almacenamiento químicos de energía solar: ZnO, etc.
- Tratamiento solar de agua: desalinización, desinfección, descontaminación
- Investigación en fenómenos básicos y procesos de producción de nano-materiales: fullerenos, nanotubos de carbón, cerámicos, etc.
- Síntesis de materiales de alto valor añadido: cerámicos, vidrio, etc.
- Fotoquímica y foto-física de alto flujo
- Conocimiento básico del comportamiento y envejecimiento de materiales en condiciones extremas

La PSA ofrece acceso a las siguientes instalaciones: sistema de receptor central (CRS, torre con un campo norte de heliostatos, 200-350 kW), hornos solares (60 kW y 5 kW), módulos de disco parabólico, instalaciones de colectores cilindro-parabólicos, plantas piloto solares para desalinización, descontaminación y desinfección de aguas residuales.

En el PROMES-CNRS, las instalaciones solares que se ofrecen son: 12 hornos solares (de 1 kW a 1.000 kW, con concentraciones de hasta 15.000 soles), una instalación de tipo torre (hasta 400 kW), un módulo de disco parabólico y un colector cilindro-parabólico. Los hornos solares están equipados con atenuadores para modular la radiación solar de forma precisa.

El simulador solar de alto flujo del PSI (Instituto Paul Scherrer) puede suministrar más de 50 kW de potencia radiante con un flujo radiativo pico que supera los 11.000 soles (11 MW/m²). El horno solar de alto flujo del PSI puede suministrar hasta 40 kW de potencia solar con un flujo pico de 5.000 soles (5 MW/m²).

Las instalaciones de ENEA abordan todos los aspectos referentes a la tecnología de sales fundidas, desde pruebas de compatibilidad de materiales a ensayos térmicos a alta temperatura. Existen dos lazos experimentales accesibles: un lazo de corrosión dinámica por sales fundidas (MOSE) y un colector cilindro-parabólico en lazo (PCS) que opera a una temperatura de hasta 550 °C.

El CIESOL ofrece infraestructuras tales como una planta piloto solar basada en foto-reactores de tipo CPC para el tratamiento de aguas residuales, una planta piloto para la evaluación de aguas residuales regeneradas por medio de tecnologías solares fotocatalíticas avanzadas, un sistema de calefacción y refrigeración solar y un sistema de motorización para el edificio bioclimático del CIESOL.

Para acceder a las infraestructuras mencionadas, los usuarios tienen que presentar una solicitud a través de las convocatorias anuales lanzadas por el proyecto. El proyecto de la UE cubre los gastos de viaje, alojamiento y acceso a las instalaciones con el fin de fomentar el uso de infraestructuras de investigación por parte de la comunidad de CSP. Para el año 2016, la convocatoria estará abierta desde septiembre hasta finales de enero. El periodo de acceso tendrá lugar de marzo a noviembre.



Infraestructuras de investigación incluidas en el proyecto SFERA II | SFERA II project research Infrastructures

disk modules; parabolic trough facilities; solar pilot plants for desalination, detoxification and disinfection of wastewater.

At PROMES-CNRS, the solar facilities offered are as follows: 12 solar furnaces (from 1 kW to 1,000 kW with concentrations of up to 15,000 suns); a solar tower facility (up to 400 kW); a parabolic disk module and a parabolic trough. Solar furnaces are equipped with shutters to finely modulate the solar radiation.

PSI's (Paul Scherrer Institute) high flux solar simulator can deliver over 50 kW of radiative power at a peak radiative flux exceeding 11,000 suns (11 MW/m²).

PSI's high flux solar furnace can deliver up to 40 kW of solar power at a peak flux of 5,000 suns (5 MW/m²).

The ENEA facilities address all aspects of molten salt technology from material compatibility tests to high temperature thermal tests. Two loops are offered for experimental access: a molten salt dynamic corrosion loop (MOSE) and a parabolic trough loop (PCS) that operates at a temperature of up to 550°C.

CIESOL offers infrastructures including a solar pilot plant based on CPC-type photo-reactors for wastewater treatment; a pilot plant for the evaluation of regenerated wastewater by advanced photocatalytic solar technologies; a solar heating and cooling system; and a motorization system for CIESOL's bioclimatic building.

To access the five infrastructures above, the users have to submit an application through the annual calls for entries that are launched by the project. Travel, accommodation and access to the installations are all paid for by the EU project in order to promote the use of research infrastructures by the CSP community. For the 2016 year, the call for entries will be open from September to the end of January. The access period will take place from March to November.