

# Tecnología solar cilindro parabólica

## Parabolic trough technology

SERGIO RELLOSO LASSA. INGENIERO INDUSTRIAL DE SENER

SENER ha desarrollado durante los dos últimos años un intenso trabajo dentro de la tecnología cilindro parabólica. Los principales desarrollos llevados a cabo por SENER dentro de este área han sido el nuevo diseño de colector cilindro parabólico y el sistema SENSOL.

La tecnología cilindro parabólica (tecnología CP) básicamente consiste en un campo formado por colectores solares que concentran la radiación solar recibida en un tubo absorbedor colocado en el foco de la parábola. Un fluido transmisor de calor se hace pasar por este tubo, por donde se calienta hasta la temperatura de operación. El calor recogido en este fluido puede ser utilizado con diversos fines: generar vapor de agua para un ciclo de Rankine convencional y producir así energía eléctrica, generación directa de vapor de soporte a procesos industriales, suministro de agua caliente sanitaria.... Dentro de la aplicación para generación de energía eléctrica se pueden llegar a potencias de 50 MW según la legislación vigente. Existe además la posibilidad en este tipo de plantas de utilizar un sistema de almacenamiento térmico para incrementar el factor de capacidad de la instalación.

Cabe destacar que el campo solar (compuesto por los colectores CP) de una planta de 50 MW representa aproximadamente el 60% del coste total de la central y puede llegar a tener 510.120 m<sup>2</sup> de espejo, 92.000 m de tubo absorbedor y 20.000 toneladas de acero. Éste es el caso de la planta

Andasol 1, que empezará a construirse en Granada a mediados de 2006 y en la que SENER trabaja en la UTE constructora en colaboración con COBRA.

Así, una optimización en el diseño del colector va a suponer un impacto muy importante en el coste total de la planta y, por tanto, en la rentabilidad del proyecto. Es aquí donde SENER ha visto un alto potencial de reducción de costes y, por lo tanto, de mejora en la competitividad de esta tecnología. A consecuencia de este análisis económico, la empresa inició el desarrollo de un nuevo diseño optimizado de colector cilindro parabólico.

El colector cilindro parabólico de SENER

Un colector CP está formado básicamente por una estructura metálica rígida sobre la que se montan los espejos y los tubos absorbedores, por los que circula el fluido de trabajo. Esta estructura está formada por un cuerpo central al que se unen unos brazos laterales para formar un armazón compacto. La estructura descansa sobre varios pilares distribuidos a lo largo de la longitud del colector, que permiten el giro del conjunto. El pilar central aloja el sistema de control local y el mecanismo actuador, res-

SENER has made a deep effort during the last two years within the Parabolic Trough technology. The main developments carried out by the company are the new design of Parabolic Trough Collector and SENSOL system.

Parabolic Trough technology (PT technology hereafter) basically consists of a Solar Field which is composed of a number of collectors that concentrate the incident solar irradiation into an absorber tube located in the focal line of the parabola. A Heat Transfer Fluid circulates through this tube, where it is heated up to the operating temperature. The heat provided by the Solar Field can be used for several purposes, such as water steam generation for a

conventional Rankine cycle, Direct Steam Generation for industrial applications, hot water delivery.... A Solar Thermal Power plant using PT technology can reach up to 50 MW electric power, according to Spanish current legislation.

It has to be noted that the Solar Field of a 50 MW plant represents approximately the 60% of the total plant cost and can be composed of 510.120 m<sup>2</sup> of mirror aperture, 92.000 m of absorber tubes and 20.000 steel tonnes. These are the actual figures for Andasol 1 project, which will start in summer 2006 in Granada. Andasol 1 will be constructed by SENER, in collaboration with COBRA.

SENER Parabolic Trough Collector

Solar Field represents more than half the total plant cost. Therefore, SENER has made an effort to improve current state of the art of PT collector design in order to reduce plant costs.

Main characteristic of SENER design lies on the use of a torque tube as the central body of the collector. This tube is made of steel sheet, with a thickness depending on wind load requirements



Fig. 2: Colector cilindro parabólico.

Fig. 2: PT Collector



Fig. 4: Tubo central.

Fig. 4: Torque tube.



ponsables del apunte del colector hacia el Sol durante el tiempo de operación del campo solar.

El colector CP de SENER tiene aproximadamente 150 m de longitud y 5.77 m de anchura. Los principales requisitos de un colector CP son los siguientes, todos enfocados a maximizar el rendimiento del colector y a simplificar el proceso de montaje del mismo:

- Estructura y sistema de control:
- Capacidad del sistema de actuación para mover toda la estructura del colector frente a los esfuerzos externos (viento, rozamiento) y precisión de apunte.
- Resistencia del conjunto (estructura + espejos) frente a cargas límite (viento, nieve, granizo).
- Rigidez torsional para evitar deformaciones que reduzcan el rendimiento del colector.
- Espejos y tubos absorbedores:
- Alto rendimiento óptico: determinado por parámetros como la reflectividad de los espejos y la capacidad absorbente del tubo absorbedor.
- Bajo nivel de pérdidas térmicas, determinado por la emisividad del tubo absorbedor.
- Procedimiento de fabricación y montaje.
- Precisión de montaje de la estructura metálica que soporta a los espejos y de los tubos absorbedores para un máximo aprovechamiento de los rayos reflejados.
- Facilidad de fabricación, montaje y verificación de calidad.

La característica principal del diseño del colector CP de SENER, bautizado como SENERTROUGH, se basa en el nuevo concepto utilizado en la estructura metálica. Los diseños de colector más recientes se basan en conceptos de celosía espacial (LS-3, Eurotrough I y II), mientras que el SENERTROUGH se basa en una estructura de tubo central al

que se unen los brazos laterales estampados.

Como se describe a continuación, este diseño reduce el tiempo de fabricación y montaje de la estructura a la vez que incrementa las prestaciones del colector, asegurando la fiabilidad del proceso completo. Hay que notar que el proceso de montaje de la estructura del colector es un proceso largo y delicado que consta de los siguientes pasos en los diseños actuales, cada uno de los cuales se realiza en una mesa de canteo especial:

- Ensamblaje de las piezas que conforman el cuerpo central
- Ensamblaje de las placas de amarre de los espejos a los brazos laterales
- Ensamblaje de cuerpo central y los brazos laterales para formar el conjunto

Una vez montada la estructura se procedería a montar sobre la misma los espejos y los tubos absorbedores.

El uso de un tubo como cuerpo central de la estructura reduce drásticamente el coste de fabricación y montaje de este elemento ya que las horas de trabajo necesarias se acortan enormemente. Por una parte, los diseños actuales de celosía necesitan una cantidad considerable de trabajo para soldar o atornillar todas las piezas que conforman el conjunto, por otra, el tubo elimina la necesidad de la mesa de canteo para el cuerpo central.

Asimismo, la forma de tubo elegida proporciona una rigidez torsional muy superior a la de los diseños de celosía (aproximadamente un orden de magnitud por encima), minimizando así las deformaciones torsionales del colector que puedan causar un desbordamiento excesivo de los rayos alrededor del tubo absorbedor. Otro efecto importante de la alta rigidez es que el descentramiento del centro de gravedad de la estructura - que ocurre con frecuencia en

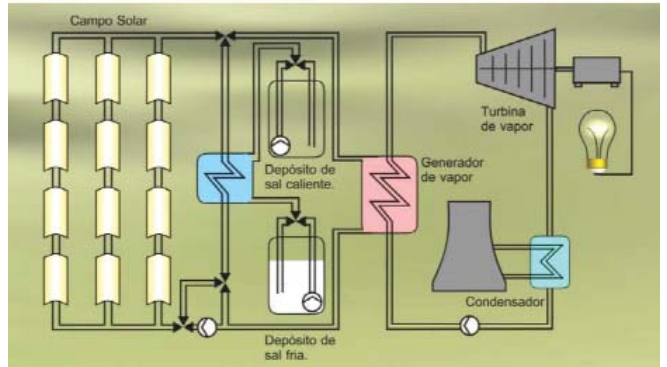


Fig. 1: Diagrama de planta de CCP.

Fig. 1: PT technology Solar Thermal Power plant

on the collector. This concept is very cost-effective, since the man-power needed to manufacture the tube has been minimized. Continuous cylindrical shape of the torque tube provides a high torsional stiffness, which is one of the main parameters affecting collector optical efficiency.

Cantilever arms connect the mirrors to the central torque tube. These components are usually made of welded tube profiles. In SENER's new design, these cantilever arms are made using metal sheet stamping techniques (SENER patent), thus reducing manufacturing and mounting costs with respect to current state-of-the-art designs, based on spatial truss structure.

SENER PT collector (called SENERTROUGH) is 150 meters long and has an aperture width of 5,77 m. HCE and curved mirrors existing in the market - as well as new products from different manufacturers - can be easily attached to collector structure. SENERTROUGH has been mounted and tested at the CIEMAT-PSA facilities. Several performance tests were performed in order to

assure the validity of the concept.

In order to establish the operational requirements for SENERTROUGH (maximum wind speed, allowable tolerances) as well as to evaluate the impact of the design alternatives on collector performance, SENSOL system has been used.

#### SENSOL system

In the recent years, SENER has developed a new software tool for solar projects analysis, named SENSOL. This tool can perform production calculations as well as economic analysis of the project, taking in account both plant operating and electricity selling strategies. This software can be applied to a variety of technologies: Central Receiver System, Parabolic Trough Technology, Photovoltaic and Beam Down System.

SENSOL is a powerful tool which can be used for a deep analysis of any solar project belonging to these technologies, thanks to its many features. SENSOL is composed of several separate modules, which will be applied during the corresponding project



elementos metálicos fabricados en masa - va a afectar en menor medida al rendimiento del colector, eliminando la necesidad de equilibrado de la estructura metálica.

Los brazos laterales del SENER-TROUGH se fabrican mediante estampación (patente de SENER). El proceso de estampación es capaz de generar piezas de una gran precisión dimensional en muy poco tiempo y a un coste mínimo. Los brazos laterales fabricados mediante el proceso de estampación tienen diversas ventajas sustanciales respecto de los diseños de estructura de barras espacial:

- Las horas de trabajo por pieza se reducen al mínimo, puesto que el proceso de fabricación pasa a ser automático (línea de montaje por estampación)
- El aprovechamiento de material se optimiza puesto que el diseño por estampación utiliza la mínima cantidad de material (en un mismo golpe de la máquina se puede conformar la chapa y a la vez quitarle el material sobrante)
- No haría falta una mesa de canteo para los brazos laterales ya que la pieza saldría de la línea de montaje con los soportes para los espejos ya practicados en los lugares correspondientes con mayor precisión y fiabilidad de la que se consigue en el proceso tradicional
- La repetitividad y fiabilidad en la fabricación sería de un orden de magnitud superior al de los diseños tradicionales, gracias a la técnica de estampación de la chapa galvanizada. Este es un punto importante a verificar ya que desviaciones en las dimensiones o espesores de galvanizado de los brazos laterales pueden provocar una torsión excesiva del colector por el descentramiento del centro de gravedad del conjunto, reduciendo sensiblemente el

rendimiento óptico del colector.

El nuevo colector SENER-TROUGH ha sido ensayado con éxito en las instalaciones de la Plataforma Solar de Almería (perteneciente al CIEMAT), confirmando los valores esperados de rendimiento. Se proyecta su utilización en las futuras plantas termosolares comerciales tanto nacionales como internacionales.



Fig. 6: PSA (Almería): Instalaciones de ensayo.

Fig. 6: PSA (Almería): Testing facilities.

Para el establecimiento de los requisitos operacionales sobre el colector (velocidad límite de viento, tolerancias admisibles), así como para evaluar el impacto de las diferentes alternativas de diseño en las prestaciones del colector, se ha utilizado el sistema SENSOL, una herramienta software desarrollada íntegramente por SENER para el análisis de proyectos solares.

#### SENSOL

Fruto de la actividad de SENER en I+D es el nuevo software denominado SENSOL, desarrollado para el análisis técnico-económico y la optimización de proyectos en el área solar. Es una herramienta de gran utilidad ya que proporciona el diseño óptimo en cada caso, desde el punto de vista de la rentabilidad del proyecto.

SENSOL es un programa muy innovador, que sitúa a SENER en la mejor posición tecnológica para llevar a cabo estudios de viabilidad y optimización de plantas solares. SENSOL puede ser aplicado a centrales solares

phase.

First of all, SENSOL can be used for site selection when this has not been selected for a certain plant design. When plant site has been decided after studying plant performance for the different locations, SENSOL can perform an optimization of plant design by means of an iterative process.

To this end, SENSOL can esta-

blish a variable range for main plant components (collector field aperture area, tower height, receiver power, storage capacity, NG heater size and turbine power). SENSOL then combines all these varia-

bles to generate a number of plant designs which can be quickly calculated in order to find the optimum plant design or the adequate design range. For each plant design, SENSOL calculates annual plant production, total investment and O&M cost, which derive in a certain figure of merit for each plant configuration. This figure is then used to establish optimum plant size.

When selected optimum plant design, it is time to establish the most adequate operating strategy for the plant depending on the characteristics of the components, applicable economic tariffs and meteorological forecast. Furthermore, SENSOL is currently being transformed into a plant management tool to improve system response.

térmicas (plantas de heliostatos y de colectores cilindro-parabólicos) y fotovoltaicas. En el caso de las centrales térmicas permite la hibridación con gas natural, de acuerdo a la legislación vigente (RD 436/2004). La capacidad diferenciadora de SENSOL radica en la detallada modelización óptica del campo colector de la central (formado por heliostatos o colectores CP) y en la parametrización de los costes del proyecto. De esta manera, para cada componente de la central se tiene en cuenta no sólo su rendimiento sino también su coste, y, lo que es más importante, cómo varía éste con las prestaciones del componente. Esto permite, a través de un

proceso iterativo, elegir la configuración óptima del sistema partiendo de un diseño básico. SENSOL también se puede utilizar para analizar el impacto en la rentabilidad de los diferentes cambios de diseño que puedan surgir durante el desarrollo del proyecto. Resulta también particularmente interesante para estudiar los distintos modos de operación de la planta desde la óptica de la rentabilidad.

Las ventajas aportadas por SENSOL en los diversos proyectos en los que SENER lo ha utilizado, como por ejemplo en Andasol 1 y 2, Solar Tres, o la planta del TITECH (Beam Down System), son realmente satisfactorias.

