

La energía solar térmica directa: una opción ignorada por la industria

Vázquez Vaamonde, Alfonso J.

Departamento de Ciencia e Ingeniería de las Superficies y de la Corrosión.
Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM-CSIC)
Avda. Gregorio del Amo, 8 - 28040 Madrid
mvazquez@uvigo.es

Resumen

Se propone el uso de la Energía Solar Térmica de Aplicación Directa (ESTAD), en equipos con/sin concentración, directamente en procesos industriales. Se describen distintos equipos y presentan aplicaciones metalúrgicas (cladding, intermetálicos, tratamientos térmicos, recubrimientos, soldadura, reducción química, etc.) en el CENIM, PSA-CIEMAT y Horno Solar (Odeillo-CNRS). El éxito de la Energía Solar TermoEléctrica (ESTE) distrajo la atención de su empleo térmico directo en PYME y GE que permitiría un gran ahorro energético. La industria no incorpora la ESTE lo que aumenta sus costes. En Alemania se ahorran 18.6 millones de toneladas de petróleo equivalente por la vía de energías renovables frente a 12,4 en España.

Palabras clave

Energía solar térmica. Energía solar térmica de concentración.

Abstract

Analysis of the Direct Application of Solar Thermal Energy (DASET), concentrated or not, to industrial processes. Different examples of metallurgical process application (cladding, coating, heat treatment, welding, reduction, etc.) performed at CENIM, PSA-CIEMAT and CNRS (Solar Furnace Odeillo) are shown. The success of Solar Thermo Electrical Energy (STEE) production hidden their application direct heating in processes in SME and LE saving energy. Industry don't save energy using SET. Germany saves 18.6 million tones oil equivalent thanks to renewable energies vs. 12.4 in Spain.

Keywords

Solar Thermal Energy, Concentrated Solar Energy.

Texto publicado en la página web www.energia2012.es



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE ECONOMÍA
Y COMPETITIVIDAD



FUNDACIÓN ESPAÑOLA
PARA LA CIENCIA
Y LA TECNOLOGÍA



Introducción

La radiación solar es una forma de energía aprovechable como energía térmica. Ese fue su uso secular para secar frutas, verduras, obtener sal del mar, etc. Recientes diseños permiten calentar el agua hasta casi 100 C; con equipos de concentración se alcanzan 2.000 y 3.000 °C. Esta realidad es bastante ajena a la formación universitaria aún en ingeniería.

Un uso espectacular de la ESTAD fue en la batalla de Siracusa. Bruñidos los escudos por indicación de Arquímedes, los rayos reflejados incendiaron las velas de la flota romana que desistieron en su invasión. Fue la «batalla de los espejos ustorios», del latín, urere.

Siglos después, Buffon (s XVIII) utiliza un reflector con multifacetado y Lavoisier, con una doble lente, funde platino. A finales del s XIX, Mouchot (1868) monta un colector cónico en París y Ericsson (1870) invierte grandes sumas en un concentrador parabólico. Ya en el s XX, Eneas (1900) construye el primer motor solar de 5 kW, Schuman (1911) crea la compañía The Sun Power Co y lo instala en Maadi (Egipto) con una potencia de 88 kW. Bailey diseña otro equipo que se usa en los estados del sur de los USA. En 1941 ya tenía sistema de almacenamiento que permitía disponer de agua caliente durante toda la noche.

En España, el ingeniero Cabanyes diseñó un motor solar (1903). La idea no prosperó, como tampoco la de Monturiol y Peral. Este invernadero de chimenea fue reinventado, rediseñado y comercializado por los alemanes a partir de los ensayos realizados en la PSA. Más éxito tuvo un vecino nuestro; nacido en la parroquia de Cendufe, concejo de Arcos de Valdevez, en Portugal, el P. Himalaya fue un científico destacado, pero casi ignorado. No obstante, con su inmenso Pirhelióforo, Exposición de St. Louis (1904), logró casi 3.500 °C.

Otro pionero fue el ingeniero químico Felix Trombe. Su famoso parabolóide (1949) está en el museo de Mont Louis. A él, y a la sensibilidad e inteligencia de los políticos franceses, se debe el Gran Horno solar de Odeillo (CNRS), de los años 60. En Tashkent (Uzbekistán) hay una copia en «estilo soviético».

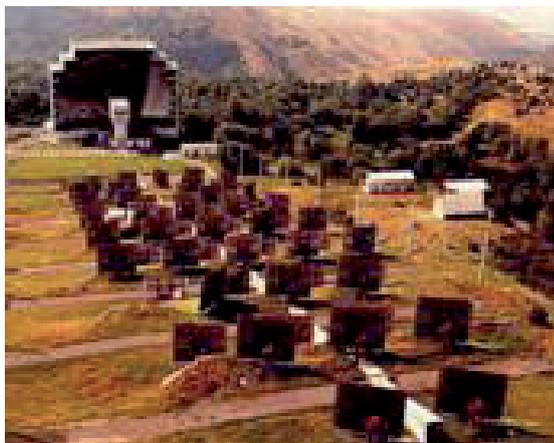


Fig. 1. Instalación del Horno Solar (Odeillo).

Cuando la OPEP redujo el suministro de petróleo la crisis del 73 subió el precio del barril de petróleo de 3,65 dólares a casi 12, más de un 300%. La Energía Solar fue una opción. Los israelíes la desarrollaron y hoy atienden el 90% de la demanda doméstica con paneles solares. De esa crisis nació la PSA en un consorcio de siete países. Tras la primera fase, al bajar el precio del petróleo sólo siguió Alemania. El ministro de Ciencia presionó al de Industria español, dispuesto a no «gastar dinero» en investigación. Hoy es una instalación europea de referencia en investigación en ESTE y España está en la vanguardia mundial. Hace

Texto publicado en la página web www.energia2012.es

más de un cuarto de siglo iniciamos en la PSA trabajos sobre aplicaciones de la ESC al tratamiento térmico de aceros. Hoy hay una línea abierta sobre materiales.

Energía solar térmica de aplicación directa (estad) e industria

La ESTE es ya una opción de mercado. El oligopolio eléctrico le reprocha las subvenciones ignorando que ellos las reciben de un modo u otro: financiación indirecta del carbón en las termoeléctricas, o «para entrar en el mercado»; (in)directa de las nucleares en el tratamiento de residuos y la ampliación de años de uso, prioridades para expropiar a las hidroeléctricas.

Son subvenciones mercantiles que no aumentan el valor científico y tecnológico del país. Con ellas los accionistas ganan dinero con subvenciones públicas: menos impuestos, etc. No aumenta la riqueza tecnológica, que es la que tiene futuro e interés social, como pasa con la ESTE. Pese a todo, no es la forma mejor ni la más eficiente de aprovechar la ESC.

Rendimiento de la producción de energía eléctrica termosolar vs. calentamiento directo

La electricidad es un vector energético que transporta la energía lejos de donde se produce, como los oleoductos y gasoductos y, en su día, los hidrógenoductos. La electricidad sólo es imprescindible en aplicaciones eléctricas o electrónicas. En aplicaciones térmicas es una opción más en la que aún tiene la ventaja de su mayor sencillez de control y regulación.

Su principal desventaja es su bajo rendimiento energético global. La movilidad de la ESTE tiene la servidumbre de los muchos pasos del proceso. En cada uno hay una pérdida de rendimiento. Aunque el desarrollo tecnológico los reduce día a día, hay un límite claro.

En cada una de las etapas de producción de la ESTE hay una pérdida de rendimiento:

1. Calentamiento del receptor solar
2. Calentamiento del aire/gas en el receptor solar
3. Producción de vapor de agua a presión en la caldera
4. Producción de energía eléctrica en el turbogenerador
5. Transformación eléctrica de BT a AT
6. Transmisión en la red de AT
7. Transformación eléctrica de AT a BT
8. Transmisión en la red de BAT
9. Uso final:
 - a. aplicaciones eléctricas o electrónicas
 - b. aplicaciones térmicas

Texto publicado en la página web www.energia2012.es



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE ECONOMÍA
Y COMPETITIVIDAD



CSIC
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



FUNDACIÓN ESPAÑOLA
PARA LA CIENCIA
Y LA TECNOLOGÍA



Esa pérdida, que puede ser del 60 %, sería menor mediante la ESTAD

1. Calentamiento del receptor solar
 2. Calentamiento del aire/gas en el receptor solar
- 9.b.- Aplicación térmica.

Con un rendimiento del 40 %, si el aire/gas del calentamiento directo tiene en el receptor 800 °C y los gases de salida superan los $800 \cdot 0,40 = 320$ °C, el rendimiento de la aplicación directa es más eficiente. Además, los gases a 320 °C permiten un mayor aprovechamiento de la energía que tienen: cambiador de calor, producción de vapor, etc.

Equipos e instalaciones para aprovechar la energía termosolar por calentamiento directo

La ESTE exige fuertes inversiones financieras de instalación y mantenimiento. La ESTAD en aplicación directa no necesita tantas y puede utilizar los mismos equipos:

1. Torre Central y Campo de Espejos (TCCE), vía producción de vapor
2. Colectores lineales: a.- Cilindro Parabólicos (CCP) o
b. Colector Fresnel Lineales (CFL), vía producción de vapor
3. Paraboloides o Colectores de Fresnel Circulares
4. Calentadores planos (CP)

1. Este diseño exige gran inversión industrial y necesita mucho espacio. Su imagen contribuye a disuadir su industrial directa en PYME o en GE porque la inversión supera la de la instalación principal. Parte de ese coste, obra civil de preparación del terreno, no existiría colocando los heliostatos sobre la nave industrial. Cabe valorar, como imagen de marca la visibilidad de la torre central.



Fig. 2. Instalación de TCCE (PSA).



Fig. 3. Instalación de CCP (PSA).

Texto publicado en la página web www.energia2012

Los heliostatos sobre la techumbre de la nave calentarían el colector en la parte superior de la torre. La temperatura del aire o gases calientes puede llegar a ser del orden de 800 – 900 °C. El mayor coste del refuerzo de la estructura de la nave, por el peso y el efecto de viento, puede reducirse con heliostatos pequeños.



Fig. 4. Instalación de CFL (PSA).



Fig. 5. Paraboloide (dish) (PSA).



Fig. 6. Instalación CCF (CNIM).

2. Los colectores lineales exigen menor inversión que se reduce más por ausencia de obra civil pues se pueden instalar sobre la techumbre de la nave. En los CCP (figura 3) el esfuerzo de viento es mayor que en los CFL (figura 4) donde los espejos, paralelos al suelo, sufren un mínimo esfuerzo. Su rendimiento es menor. La temperatura del aire o gases calientes puede llegar a ser unos 300 – 400 °C.

3. Paraboloide y Colector Circular de Fresnel (CCF). Los paraboloides suelen usarse para producir energía eléctrica vía motor Stirling. Si en su lugar se coloca un receptor podrían calentar el aire o los gases a una temperatura similar a la de una instalación TCCE.

El diseño es modular. Un paraboloide de 5 m de diámetro, con una insolación de 800 W/m² produce 15 kW térmicos, una potencia habitual en muchos hornos industriales. Varios módulos en paralelo darían mayor potencia. Un diseño en serie permitiría mayor temperatura.

El CCF de doble reflexión tiene pares de filas de espejos. La exterior está a 45 grados respecto al eje óptico mientras que la segunda, con inclinación proporcional a su distancia al eje, refleja el rayo en el foco.

La energía solar térmica, donde el vector es el aire/gas, calentaría reactores, hornos, estufas o baños de la planta por vía directa o indirecta, vapor a presión, lo que permitiría su aprovechamiento mecánico o producir energía eléctrica.

4. También los colectores planos pueden emplearse en la industria. Son muchas donde se calientan baños (decapado, desengrase, depósitos electrolíticos, etc.) a menos de 80 – 90 °C. El ahorro energético no es despreciable porque aunque la temperatura es baja las pérdidas son elevadas por evaporación, sobre todo en cubas destapadas que es lo habitual.

Texto publicado en la página web www.energia2012

Docencia e investigación en ESTAD

Hay instalaciones solares útiles en investigación y docencia que deberían estar presentes en facultades de Química o Física y escuelas de ingenieros. Los estudiantes, profesionales de mañana, deben conocer el gran potencial de la ESTAD en la industria. Lo que se ignora jamás se usará.

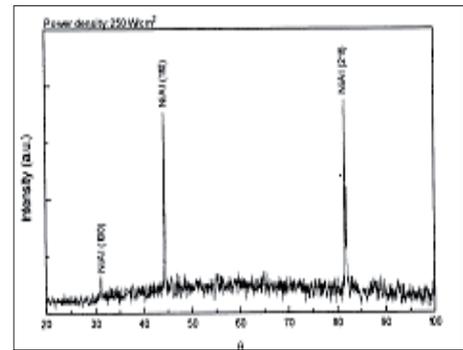
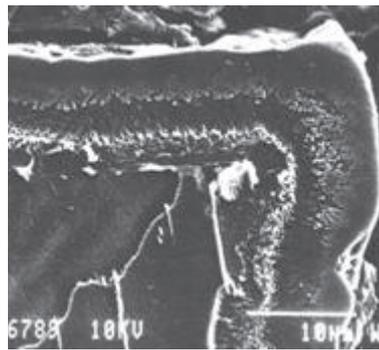


Fig. 7.- Lente de Fresnel (CENIM). Fig.8. Corte metalográfico de TiN. Fig. 9.- Diagrama de Rayos X de NiAl.

Basta una simple lente de Fresnel de 80 – 90 cm de diámetro (figura 7), montada sobre un seguidor solar con orientación polar para tener un foco de 8 mm de diámetro con el que se pueden alcanzar los 2000 °C según qué material se caliente. Aunque sería deseable su control de posición en dos ejes, nosotros hemos venido trabajando con un equipo con seguimiento solar en un eje, lo que reduce su coste. La altura del sol se ajusta a diario. La potencia es baja, pero la densidad de potencia es alta: 2.500 soles \leftrightarrow 2.500 kW/m².

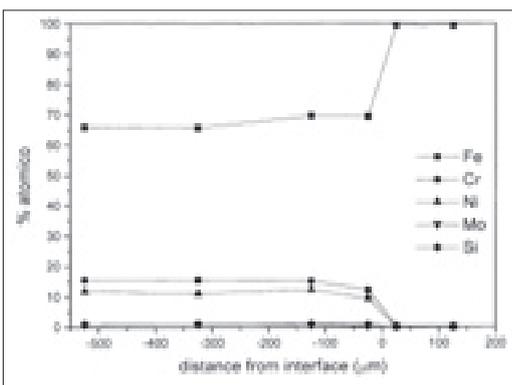


Fig. 10. Diagrama de RX: cladding inoxidable. Fig. 11. Soldadura en ángulo ASI 304.

Texto publicado en la página web www.energia2012

Con este equipo obtuvimos recubrimientos de TiN sobre Ti6Al4V y de NiAl sobre acero y en Odeillo, con el concentrador de eje vertical, no el de la figura 1, cladding de inoxidable, soldamos acero al carbono y también inoxidable, en ángulo y Ti6Al4V en T. En la instalación de CCF y en la pequeña de TCCE de la PSA, no la de la figura 2, hicimos tratamientos térmicos de acero al carbono (figura 12) y de inoxidable autotemplable.

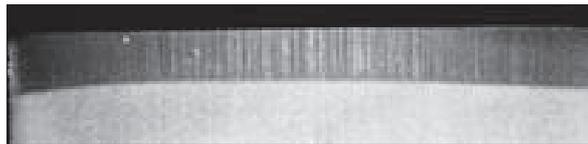


Fig. 12. Corte transversal de la zona templada.

En un lecho fluidizado diseñado por nosotros e instalado en la PSA redujimos Fe_2O_3 a Fe_3O_4 con $\text{N}_2/5\%\text{H}_2$.

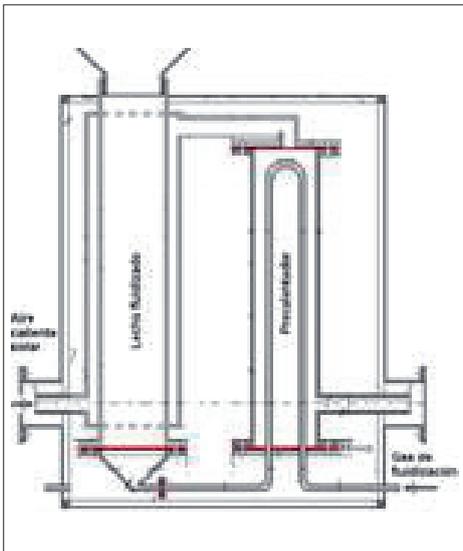


Fig. 13. Esquema de lecho fluidizado.



Fig. 14. Hematites roja inicial (izda.). Magnetita negra final (dcha.).

Texto publicado en la página web www.energia2012

Referencias

- C. SÁNCHEZ BAUTISTA; A. FERRIERE; G. P. RODRÍGUEZ; M. LÓPEZ-ALMODÓVAR; A. BARBA; C. SIERRA; A. J. VÁZQUEZ (2006). NiAl intermetallic coatings elaborated by a solar assisted SHS process, *Intermetallics*, 14, 1.270-1.275.
- A. FERRIERE; C. SÁNCHEZ BAUTISTA; G. P. RODRÍGUEZ and A. J. VÁZQUEZ (2006). Corrosion Resistance of Stainless Steel Coatings elaborated by solar cladding process. *Solar Energy*, 80 (10), 1.338-1.343.
- C. SIERRA and A. J. VÁZQUEZ (2006.) Dry sliding wear behaviour of nickel aluminides coatings produced by Self-Propagating High Temperature Synthesis, *Intermetallics*, 14 7, 848-852.
- C. SIERRA and A. J. VÁZQUEZ (2006), NiAl Coating on carbon steel with an intermediate Ni gradient layer, *Surface and Coating Technology*, 200, 4.383-4.388.
- A. J. VÁZQUEZ (2007). Tratamiento con Energía Solar Concentrada de terrenos contaminados con zinc, Sesión Técnica ATEG, *Resúmenes de la Sesión Técnica*, Madrid.
- I. CAÑADAS; D. MARTÍNEZ; J. RODRÍGUEZ; B. J. FERNÁNDEZ y A. J. VÁZQUEZ (2008). T. Térmico de aceros al carbono y de herramienta en un lecho fluido calentado por Energía solar Concentrada, *TRATERMAT, Actas del congreso*, 12-13.03, Valencia.
- J. LLORENTE; M. A. ARENAS and A. J. Vázquez (2009). New solar concentrator coupled with a fluidized bed reactor. SOLAR PACES, Berlin, 15 -18 septiembre 2009.
- A. ROMERO; I. GARCÍA; V. LÓPEZ; M. A. ARENAS and A. J. VÁZQUEZ (2011). Welding of Metallic Materials with CSE, *Actas Éuromat*, 12-15.08, Montpellier.

Texto publicado en la página web www.energia2012



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE ECONOMÍA
Y COMPETITIVIDAD



CSIC
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



FUNDACIÓN ESPAÑOLA
PARA LA CIENCIA
Y LA TECNOLOGÍA

