

DE LOS ARCHIVOS HISTÓRICOS DE LA ENERGÍA SOLAR

Las chimeneas solares:

De una propuesta española en 1903 a la Central de Manzanares

E. Lorenzo

Instituto de Energía Solar

Universidad Politécnica de Madrid

Introducción

Este trabajo fue propuesto como base de un ejercicio, en el curso de doctorado del Instituto de Energía Solar en 2002. Como otros anteriores (*Era Solar ...*), responde al empeño de recuperar algunos episodios del pasado de la energía solar, poco conocidos en general, pero que son merecedores de recuerdo.

A esta faceta historicista, se suma el intento de aprovechar el indudable potencial didáctico de estas páginas del pasado.

Las chimeneas solares

El 25 de agosto de 1903, la revista *La Energía Eléctrica*, subtitulada Revista General de Electricidad y sus Aplicaciones, publicaba un artículo del coronel de artillería Isidoro Cabanyes, titulado “*Proyecto de motor solar*” (véase la figura 1).

Después de describir como poco útiles las máquinas solares anteriores a él (“*Concibamos una gran caja de cristal herméticamente cerrada; bajo la caja transparente, otra de hierro pintada de negro, y dentro de esta última caja, aire ó agua, medios que, una vez elevados á alta temperatura pasen á cualquiera de las máquinas ya conocidas de aire caliente ó de vapor de agua y en ella funcionen; y todo ello, caja transparente y caja de hierro, sobre un piso de cristal machacado; agréguese á tal mecanismo pantallas ó reflectores, que recojan el sol oblicuo y lo dirijan á la caja de cristal y tendráse idea de lo que son «todas» las máquinas solares inventadas hasta el día, sin que ninguna haya podido alcanzar la menor importancia industrial, ni más potencia que la de algunos kilográmetros ...*”), proponía un nuevo ingenio constituido por una chimenea con dos peculiaridades en su base:

- La primera, un colector solar destinado a calentar el aire, y provocar así una corriente ascensional por la chimenea (“... *si a la expresada superficie cónica que constituye el pedestal de la figura, se le han hecho numerosos y pequeños taladros en toda su extensión, y después de pintada de negro, se la ha expuesto a la acción inmediata del sol particularmente en los meses y horas de más calor, al caldearse la masa metálica, el aire exterior próximo a dicha superficie, pasará a través de los taladros de que se halla tapizada, a impulso del tiraje espontáneo del conjunto, y quedará así constituida una corriente de aire dentro del tubo, tanto más intensa, cuanto más alta sea la chimenea y mayor la temperatura del sol en el momento considerado, todo naturalmente dentro de determinadas dimensiones y disposición de la superficie de caldeo y sección y cota de la chimenea*”).
- La segunda, un generador eólico destinado a producir trabajo mecánico a impulso de esa corriente ascensional (“... *si en cualquiera región del interior del tubo, montamos*

horizontalmente una rueda de las conocidas con el nombre de «molino de viento», esa rueda se pondrá en marcha en las horas de calor intenso por virtud de dicha corriente ascendente de aire, de un modo semejante á como lo hiciera si la rueda se hubiese establecido al aire libre, de la manera común y ordinaria, como se hace en la instalación de esta clase de aparatos”).

La Energía Eléctrica

REVISTA GENERAL DE ELECTRICIDAD Y SUS APLICACIONES

PUBLICACIÓN QUINCENAL ILUSTRADA

SUMARIO

Proyecto de motor solar (continuará), por Isidoro Cabanyes.—Algo de electricidad práctica.—Instalación eléctrica del tranvía de Bilbao á Durango y Arratia (continuación), por S. C.—¿Qué es el potencial? (continuará), por Nicolás de Ugarte.—Estaciones transportables para telegrafía sin conductores, sistema del profesor Braun y Siemens y Halske, y su empleo en el ejército alemán (continuará), por C. Ferrero.—Teorías y explicaciones sobre el papel que en la propagación de las ondulaciones eléctricas, en la Telegrafía sin conductores, parecen desempeñar la tierra, la antena y la atmósfera (conclusión), por Carlos Dorrien.—Crónica científica: Radio-actividad del agua.—La resistencia eléctrica de los aceites.—Información.—Ofertas y demandas.—Correspondencia particular.

PROYECTO DE MOTOR SOLAR

CONGIBAMOS una gran caja de cristal herméticamente cerrada; bajo la caja transparente, otra de hierro pintada de negro, y dentro de esta última caja, aire ó agua, medios que, una vez elevados á alta temperatura pasen á cualquiera de las máquinas ya conocidas de aire caliente ó de vapor de agua y en ella funcionen: y todo ello, en la

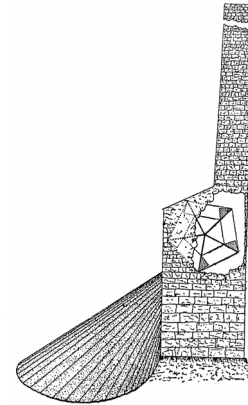


Fig. 1. Encabezamiento del artículo de Isidoro Cabanyes, y su propuesta de chimenea solar.

El artículo incluía los detalles constructivos del motor propuesto (“... la constitución más adecuada para la superficie de caldeo es, sin género alguno de duda, un enrejado compacto de alambre de hierro de 1½ á 2 mm. de diámetro, cuyas mallas cuadradas tengan 1½ ó 2 mm. de lado... La sección recta de la chimenea deberá tener con la superficie de caldeo las relaciones de 1/12, 1/15 y 1/18, según la altura de aquella, sea de 20, 25 ó 30 metros ...”), anunciaba sus pretendidas y múltiples ventajas (“... el aparato no necesita, en consecuencia, personal alguno a su servicio, ni los vientos huracanados lo molestan, pues además de hallarse la rueda en clausura, el conjunto, por su propia construcción, modera y regulariza la acción violenta de aquél... El entretenimiento de estos motores se reduce á un poco de aceite para los cojinetes, sin que el coste de adquisición se halle desproporcionado ...”), propugnaba su uso para cargar baterías (“... la acción combinada del sol y del viento permite suponer que el aparato funcionará unas ocho horas diarias por término medio todo el año, desarrollando un trabajo casi siempre adecuado para la carga de acumuladores eléctricos”), y proponía un conjunto de fórmulas para calcular el trabajo que podía esperarse de tal motor (“... con el auxilio de la fórmula (a) podemos venir en conocimiento del trabajo que suministraría un motor de dimensiones conocidas, ó bien las dimensiones necesarias que habrá que dar a un motor en proyecto para que alcance el trabajo dinámico que nos hallamos propuesto conseguir.”). Con estas fórmulas, analizaba diversos ejemplos, de los que recogemos aquí el siguiente:

“Como ejemplo extraordinario, pero sin la menor dificultad en su construcción, supongamos una chimenea con una sección recta de (12×12) m², necesitamos alcanzar 65 caballos de fuerza de 75 kilogrametros cada uno, y preguntamos: ¿Cuál será la altura de la chimenea? Siendo la fórmula... deducimos.... 63,87 metros.”

A falta de más noticias, tendremos que suponer que Isidoro Cabanyes no logró materializar su propuesta de motor solar, por lo que nunca pudo comprobar en qué medida sus cálculos pecaban de optimistas. Hoy, la lectura de su artículo deja un cierto sabor de ingenuidad. Sin embargo, en

1981, es decir, casi 80 años después de la publicación del mismo, y ya en los inicios del actual resurgimiento de la energía solar, el Ministerio Alemán de Investigación y Tecnología (BMFT), con la colaboración de la eléctrica española Unión Fenosa, promovió y financió la construcción de una máquina basada en el mismo principio en la localidad manchega de Manzanares (véase la figura 2). Ciertamente aparatosa, la chimenea tenía 195 m de altura —era, entonces, la estructura metálica más alta de España—, 10 m de diámetro y un peso de 200 toneladas (muy poco si se considera su tamaño). El colector solar era un enorme invernadero de plástico, de forma aproximadamente redonda, de 240 m de diámetro, constituido a base de cuadrados de unos 6 m de lado. En los nodos de la red resultante existían unas columnas que sostenían el plástico, a unos 2 m de elevación sobre el suelo. Una persona podía caminar tranquilamente por encima del plástico, lo que da buena idea de la robustez del invernadero. En la base de la chimenea se instaló un generador eólico de 50 kW de potencia.



Fig. 2. Vista aérea de la central eólico-solar de Manzanares.

Ninguna de las publicaciones que conocemos de la central eólico-solar de Manzanares menciona a Isidoro Cabanyes en la lista de referencias, así que hemos de suponer que sus autores no tenían conocimiento de que su idea había sido propuesta muchos años antes por el militar español. Esto no tiene nada de extraño, porque las revistas científicas españolas nunca fueron muy leídas en Alemania. Sin embargo, es curioso observar que los paralelismos, lejos de acabarse en la idea en sí, se extienden también al talante de los autores. Por ejemplo, la propuesta de una central eólico-solar real (la que construyeron en Manzanares se presentaba como un simple modelo para experimentación), con una potencia de 200 MW, incluía una chimenea de ¡1000 m de altura y 170 m de diámetro!; pero, como Cabanyes, los autores alemanes no veían la menor dificultad en su construcción (“*Chimneys 1,000 high can be build without difficulty. The television tower in Toronto, Canada is almost 600 m high and serious plans are being made for 2,000 metre skyscrapers in earthquake-ridden Japan. But all that is needed for a solar chimney is a simple, large diameter hollow cylinder, not particularly slender, and subject to very few demands in comparison with inhabited buildings*”). También como Cabanyes, estos autores miraban por encima del hombro al estado del arte anterior a ellos y atribuían múltiples ventajas a sus futuros ingenios (“*Solar chimneys are particularly reliable and not liable to break down, in comparison with other*”).

solar generating plants ... This simple and robust structure guarantees operation that needs little maintenance and of course no combustible fuel”), incluida la de poder arreglar los problemas de los países pobres (“Even in poor countries it is possible to build a large plant without high foreign currency expenditure by using their own resources and work-force; this creates large numbers of jobs and dramatically reduces the capital investment requirement and the cost of generating electricity”) y del Mundo en su globalidad (“... we should opt for global job sharing. If we buy solar energy from Third World countries, they can afford our products. A global energy market with large scale solar energy generation supplementing substantially hydropower. Fossil and nuclear fuels is not utopian dream! Therefore, now it is absolutely essential to build and test a large solar chimney”).

Cuando se erigió la chimenea de Manzanares hubo defectos en la instalación de una de las riostras que debían asegurar su estabilidad y, como consecuencia, la chimenea terminó por derrumbarse estrepitosamente durante una tormenta, en 1989, poniendo así el fin a esta página de la historia de los ingenios solares-eólicos. No sabemos si el desplome de la chimenea afectó o no a los sueños de sus autores, pero el hecho no deja de tener ribetes de lección de humildad. Algo así como un recuerdo de que la solución de los problemas del Mundo no pasa por la construcción de gigantes capaces de “vencer” a la Naturaleza. Como ocurrió con el Titanic, cuando se hundió en 1912 ocasionando más de 1500 muertos, estas cosas nacen de la soberbia humana y suelen tener mal final.

De todas maneras, los sueños merecen siempre simpatía, así que, en memoria del precursor Isidoro Cabanyes y de la chimenea solar de Manzanares, proponemos aquí este ejercicio, que pretende acercarnos a la comprensión de los fenómenos físicos en los que se apoyaba su idea. Para ello, supondremos un “motor solar” constituido por una chimenea en cuya base se coloca un radiador por el que se hace pasar un fluido caliente. El fluido se calienta en un colector térmico convencional y el radiador transmite el calor al aire que está en la base de la chimenea y que, debido a la expansión que sufre al calentarse, asciende por ella. El generador eólico puede situarse, como bien indicaba Cabanyes, en cualquier parte del recorrido de la chimenea aunque, por simple comodidad de acceso, el lugar más conveniente es su parte baja (véase la figura 3).

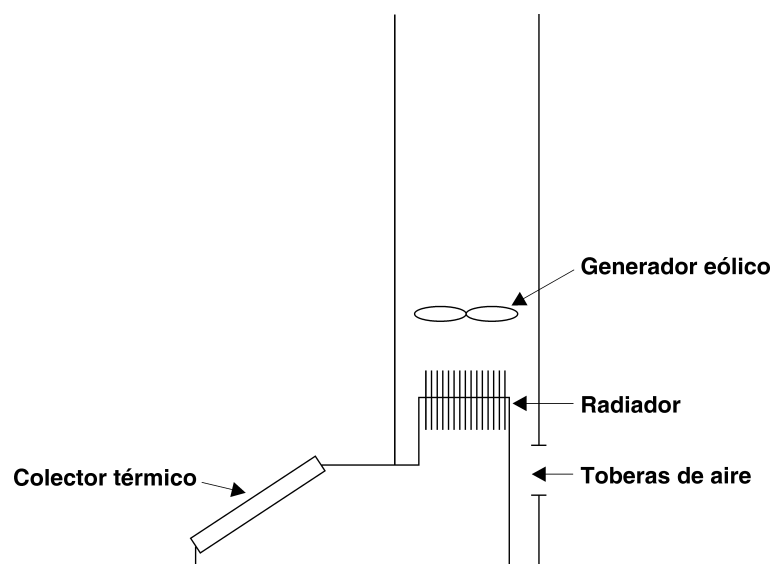


Fig. 3. Modelo de chimenea solar, para este ejercicio.

El “motor solar” así formado puede entenderse cabalmente como una máquina térmica que transmite energía cinética al aire, con un foco caliente a una temperatura igual a la del fluido que entra al radiador, y un foco frío con una temperatura igual a la del aire que entra por la tobera de la chimenea, es decir, igual a la temperatura ambiente. Naturalmente, la diferencia de temperaturas establece un límite máximo para el rendimiento de la máquina, según el principio de Carnot. Por otro lado, el aire sale por la chimenea con una cierta velocidad y, por lo tanto, transportando una cierta energía cinética que se pierde irremediablemente, limitando la energía que es capaz de extraer el generador eólico a una cantidad que supondremos igual a la que estableció Betz, es decir, al 59% del total de la energía cinética de la masa de aire que asciende por la chimenea. Por último, habremos de considerar que, debido a las pérdidas por radiación, la eficiencia del colector térmico disminuye linealmente con la diferencia de temperatura entre el fluido, T_f , y el ambiente, T_a , y aumenta con la irradiancia incidente G . El modelo concreto de colector elegido responde a la ecuación

$$\eta = 0,64 - 4,65 [(T_f - T_a) / G]$$

donde η es la eficiencia, T_f y T_a se expresan en $^{\circ}\text{C}$ y G en W/m^2 .

Cabanyes parece que confundía algunas definiciones básicas de la Física, porque su frase “65 caballos de fuerza” hace pensar que no conocía bien la diferencia entre la fuerza que menciona, y la potencia a la que quiere referirse. Desharemos aquí este mal entendido, analizando las condiciones que debe cumplir la máquina para alcanzar “65 caballos de potencia de 745,7 vatios cada uno”. Suponiendo que la potencia de la máquina se define en las siguientes condiciones operativas: $T_a = 27^{\circ}\text{C}$, $G = 1000 \text{ W}/\text{m}^2$ y $T_f - T_a = 30^{\circ}\text{C}$, se pide:

- 1) ¿Cuál debe ser la potencia térmica del radiador?
- 2) ¿Cuál debe ser la superficie del colector térmico?
- 3) ¿Cuál es la velocidad de salida del aire por la chimenea, supuesta ésta cilíndrica y con una base de 4 m de radio?
- 4) ¿Cómo varía la potencia de la máquina si se eleva la temperatura de operación del fluido en 10°C , manteniendo constantes $T_a = 27^{\circ}\text{C}$ y $G = 1000 \text{ W}/\text{m}^2$.

Por simplicidad, considere los supuestos de que el radiador cede todo el calor procedente del colector térmico al aire que entra por la tobera, que la temperatura de éste no varía a lo largo de la chimenea, y que las pérdidas por rozamiento en ésta son despreciables.

Otros datos: $1 \text{ CV} = 745,7 \text{ W}$; densidad del aire $\rho_a = 1,225 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Agradecimiento

F. Dobon fue el descubridor del artículo de Isidoro Cabanyes, en la revista “La Energía Eléctrica” de 1903. De “motu proprio”, me hizo llegar una copia, cuya lectura me apasionó desde el primer momento, y se convirtió en el principal acicate de este ejercicio-artículo. Raimundo González respondió, con su acostumbrada eficacia y rapidez, a una petición mía de búsqueda de documentación sobre la central eólico-solar de Manzanares. A los dos quiero expresar mi más sincero agradecimiento.

Solución:

1) La potencia eléctrica del generador eólico es:

$$P_{\text{ELEC}} = 745,7 \text{ W} \times 65 \text{ CV} = 48\,470 \text{ W}$$

La eficiencia de Carnot es:

$$\eta_c = 30 / (27 + 30 + 273) = 0,09$$

La potencia térmica del radiador es:

$$P_{\text{TER,R}} = P_{\text{ELEC}} / (0,59 \times \eta_c) = 912,8 \text{ kW}$$

2) La eficiencia del colector térmico es:

$$\eta = 0,64 - 4,65 \times (30/1000) = 0,5$$

Y su superficie es:

$$S_{\text{CT}} = P_{\text{TER,R}} / (\eta G) = 1826 \text{ m}^2$$

3) La superficie de la salida de la chimenea es:

$$S_{\text{C}} = 4^2 \pi = 50,27 \text{ m}^2$$

Llamando V a la velocidad del aire, la potencia que transporta el aire a su salida es:

$$P_{\text{SAL,C}} = P_{\text{ELEC}} / (1 - 0,59) = S_{\text{C}} V^3 \rho_a / 2$$

De donde:

$$V = [2 P_{\text{ELEC}} / (0,41 S_{\text{C}} \rho_a)]^{1/3} = 15,66 \text{ m/s}$$

4) Las eficiencias ahora son:

$$\eta = 0,45 \text{ y } \eta_c = 0,118$$

Su producto $\eta \eta_c = 0,053$, resulta ser un 18 % superior al correspondiente a la condición anterior; por lo que la potencia de la máquina se incrementa en la misma proporción.