

# Proyecto GENERCUS

Carmen Iniesta Barberá, Área de Optrónica y Acústica, ITM

Palabras clave: Generación de energía, tecnología termo-acústica, onda progresiva.

Metas tecnológicas relacionadas: MT 3.3.4

## Introducción

El concepto de generar energía por medios termo-acústicos (GENER-CUS) surge con objeto de abastecer energéticamente a las tropas de las Fuerzas Armadas Españolas desplazadas en bases y campamentos, donde el uso de redes de suministro eléctrico resulta inaccesible. En estas circunstancias, la disminución de la dependencia de combustibles fósiles en la generación de energía mediante una transición energética hacia fuentes de energía primaria renovables, se hace crítica para garantizar la continuidad de las misiones de forma más segura, económica y respetuosa con el medio ambiente.

La Unidad de Acústica (UAC) del Área de Optrónica y Acústica del Instituto Tecnológico “La Marañosa” (ITM), desarrolla actualmente una línea de I+D+i en tecnología termo-acústica pionera en España. Actualmente, dentro del marco GENERCUS se están llevando a cabo diversas actuaciones, como la construcción de un demos-

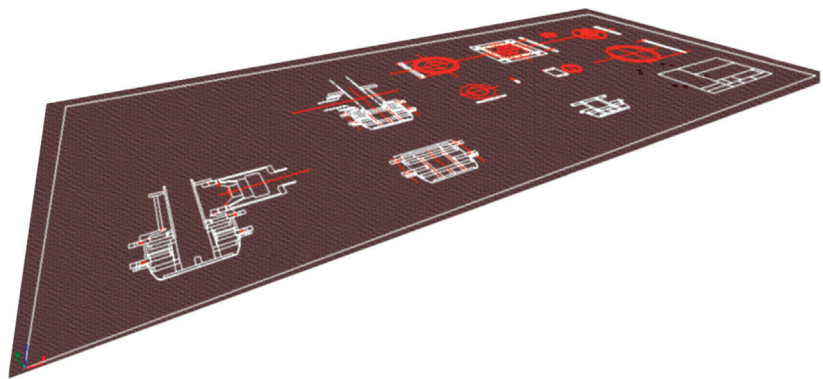


Fig. 1. Infografía de diseño del demostrador de motor termo-acústico que se está construyendo en el ITM. (Fuente: ITM)

trador de motor termo-acústico y la simulación de efectos para el diseño y fabricación de un prototipo de motor propio de la UAC, acorde a las necesidades operativas de la DGAM.

Según lo descrito, GENERCUS marca un objetivo específico que consiste en el desarrollo de un sistema innovador de generación de energía de baja potencia, capaz de proporcionar alumbrado nocturno, alimentar equipamientos de emergencia, tales como cuadros de mando, o dispositivos móviles en bases y campamentos de las FAS, de forma que, por un lado se reduzca el consumo de fuentes fósiles y por otro se incremente el nivel de autoabastecimiento energético, aumentando también así el nivel de seguridad de dichas instalaciones.

## Fundamentos tecnológicos

Todos los motores térmicos transforman un flujo de calor en trabajo mediante una serie de procesos termodinámicos que realiza un fluido de trabajo de manera continuada. En conjunto estos procesos forman un ciclo termodinámico. Los motores termo-acústicos de mayor eficiencia son los denominados motores termo-acústicos de onda progresiva en cuyo núcleo, denominado regenerador, se produce el ciclo termodinámico Stirling, que genera trabajo mecánico a partir de la diferencia de temperaturas entre sus dos extremos. Más concretamente, el cambio del volumen de trabajo de las parcelas de gas adyacentes a la pared de los poros del regenerador entre los valores extremos  $V_1$  y  $V_2$  (con  $V_1 < V_2$ ),

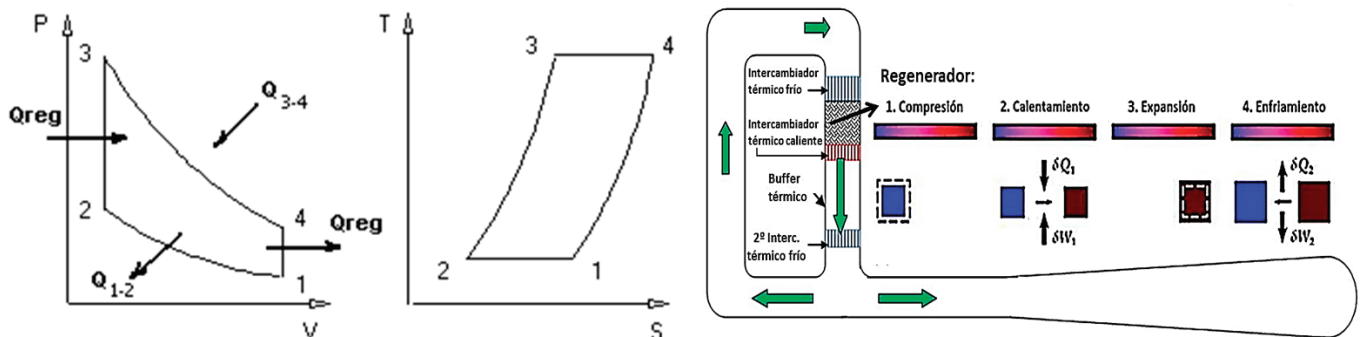


Fig. 2. Motor Stirling termo-acústico, junto a los procesos termodinámicos que experimenta una parcela de gas que oscila acústicamente dentro del regenerador, que forman el ciclo de Stirling. Las flechas verdes representan el flujo de potencia acústica. (Fuente: ITM)

se convierte en una amplificación de la onda acústica existente en el resonador, cuya magnitud es la amplitud de presión, a través de un contacto térmico perfecto. El movimiento de la columna de gas hacia adelante y hacia atrás relativo a la contracción y expansión de las parcelas de gas se controla mediante el gradiente térmico en el regenerador impuesto por los intercambiadores de calor y un circuito de resonancia acústica.

Los motores exotérmicos aportan el calor al ciclo mediante una transferencia de calor por un dispositivo externo (intercambiador de calor), con lo que dichos motores se pueden utilizar en cualquier foco externo de calor como en solar, geotermia, procesos químicos y de fisión nuclear, cogeneración, aprovechamiento del calor residual, etc.

El ciclo termodinámico teórico Stirling tiene el mismo rendimiento que el ciclo de Carnot, es decir, que tiene el máximo rendimiento teórico posible que puede tener un motor térmico. Por tanto, en comparación con otros tipos de ciclos termodinámicos teóricos, el ciclo Stirling parte inicialmente con el máximo rendimiento que se puede alcanzar en un motor térmico.

El motor Stirling termo-acústico es la evolución última y más innovadora del motor Stirling convencional, en el que se simplifica al máximo la mecánica del mismo. En su versión termo-acústica, el motor Stirling carece de partes móviles, no existen ni el pistón desplazador ni el de trabajo, y por lo tanto carece del sistema de acoplamiento entre estos dos pistones del motor original. Funciona gracias a ondas de presión que se generan en el cilindro de gas (resonador), de ahí el nombre de "acústico", merced al calor suministrado en el foco caliente.

Contrariamente a la relativa simplicidad de su aplicación práctica, los principios de funcionamiento de los dispositivos basados en la tecnología termo-acústica son complejos y están fundamentados en un compendio de sendas disciplinas de la física, como la termodinámica, la dinámica de fluidos y la acústica de potencia.

### Análisis de la tecnología

La termo-acústica es una tecnología reciente, surgida a finales de la dé-

cada de los 80, que ha alcanzado ya cierto grado de madurez en el ámbito académico y experimental, en el que existen diferentes líneas de investigación a nivel mundial, motivadas por la búsqueda de fuentes fiables, baratas y ecológicas de energía. Por lo tanto es necesario trabajar en un prototipo termo-acústico que pueda funcionar como elemento captador de la energía térmica existente en un determinado ambiente y que sea capaz de convertirla en energía mecánica, que a su vez pueda ser cedida a un transductor que la transforme y la entregue en forma de energía eléctrica.

El verdadero potencial de aplicación del motor Stirling termo-acústico está en aprovechar su característica más notable: su rendimiento. Por ello precisamente, este tipo de motor térmico es un magnífico conversor de unos tipos de energía en otros, en particular puede resultar muy eficiente para transformar la energía radiante solar en energía eléctrica usando un transductor tipo alternador o dinamo como elemento intermedio. Si se dispone de una superficie que colecte los rayos solares en forma de espejo orientable, sería muy fácil hacer llegar el calor al intercambiador de calor caliente del motor y éste se pondría a funcionar de forma espontánea. Al no haber combustión no existe índice de contaminación (gran ventaja con respecto a otros motores).

Ante una ausencia absoluta de recursos energéticos, con las innovaciones tecnológicas que se incluyen en el proyecto GENERCUS y que se enumeran a continuación, se estima una generación de energía de baja potencia suficiente como para abastecer los requisitos críticos de un determinado emplazamiento, con la activación del motor termo-acústico bien por el calor residual existente de otros equipos adyacentes, bien a partir de una fuente de calor solar.

### Innovaciones de GENERCUS

Los procesos termodinámicos en un motor termo-acústico de onda progresiva son similares a los de un motor Stirling convencional, salvo que en éste último se utilizan partes móviles (pistones), mientras que en un motor Stirling termo-acústico la onda acústica controla la compresión, el desplazamiento y la expan-

sión del fluido de trabajo (aire o gas noble). De esta manera, el fluido de trabajo realiza trabajo sobre su entorno al final de cada ciclo de trabajo, trabajo que amplifica la onda acústica inicial.

En un motor termo-acústico, como en cualquier otro motor, el calor se convierte en energía mecánica. En este caso, el mecanismo de transformación de energía térmica tiene lugar mediante el efecto termo-acústico en el regenerador, componente que queda aprisionado entre los dos intercambiadores de calor y actúa como un regulador térmico entre la parte fría y la caliente. Sin este regenerador no se darían diferencias útiles de temperatura. Está compuesto de un material poroso en el que el calor se puede almacenar durante un tiempo, por ejemplo lana de acero, malla o espuma metálica.

Para que el efecto termo-acústico se genere espontáneamente es necesario imponer un fuerte gradiente de temperatura entre los extremos del regenerador. Para ello es necesario instalar componentes puramente térmicos (intercambiadores de calor), uno en el extremo caliente y otro en el extremo frío (o ambiente) del regenerador, los cuáles también son los encargados de mantener dicho gradiente captando y cediendo calor hacia y desde el regenerador.

El rendimiento de un generador termo-acústico se mide por la relación entre la cantidad de energía mecánica (acústica) producida a la salida del regenerador y la entrada neta de calor al regenerador. Esa relación se denominada  $h_c$  (Rendimiento Térmico de Carnot), es la máxima eficiencia posible en la conversión de energía térmica en energía mecánica y suele expresarse en %. Actualmente se alcanzan registros de  $h_c$  de hasta el 48%.

Para conseguir altas eficiencias con un motor termo-acústico debe haber contacto térmico perfecto entre la pared de los poros del regenerador y la capa de fluido adyacente en la que tiene lugar la transferencia de calor. El espesor de esta capa adyacente viene determinado por la profundidad de penetración térmica que es del orden de centenas de micrómetros.

El contacto térmico perfecto se da cuando el regenerador tiene un tama-

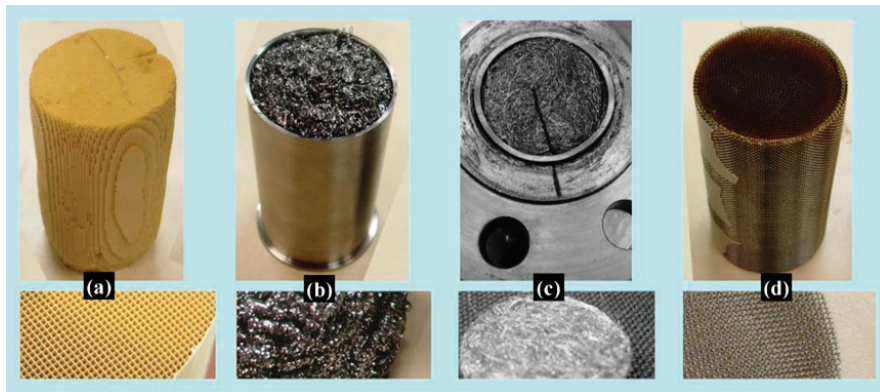


Fig. 3. Diversos tipos de regeneradores: (a) cerámico catalítico; (b) estropajos de acero; (c) lana de acero inoxidable y (d) pantallas de malla de acero inoxidable. (Fuente: ITM)

ño de poro con un diámetro aproximado de 0,1 mm. De esta forma se permite una transferencia de calor perfecta entre el sólido y el fluido, cuando éste se somete a un ciclo termo-acústico debido a una onda acústica progresiva.

El diseño del circuito resonador consigue que la onda acústica en el regenerador sea progresiva.

La diferencia de temperatura combinada con el ciclo termodinámico Stirling en el regenerador, provoca una amplificación de la onda acústica proporcional a la diferencia de temperatura. A cierta diferencia de temperatura la amplificación acústica supera las pérdidas propias del sistema, lo que en principio permite la oscilación. El sistema se activa de forma espontánea debido a las siempre presentes (mínimas) vibraciones en el gas. Si se suministra más calor del necesario para mantener la oscilación, se puede extraer un excedente energético del resonador como una potencia de salida útil.

Los motores termo-acústicos tienen un diseño carente de partes móviles, por lo que se elimina el uso de lubricantes. Además, al producir trabajo neto sin empleo de combustibles fósiles ni gases tóxicos, elimina cualquier tipo de emisión contaminante. Así, la tecnología termo-acústica es económicamente más viable y segura que otras tecnologías renovables de vanguardia.

### Conclusiones y recomendaciones

Como parte del proceso y la estrategia de planificación del GENERCUS, se espera conseguir una serie de logros significativos:

- Integración de energías renovables en abastecimiento energético, que disminuyan las emisiones de CO<sub>2</sub>.
- Ahorro en costes de fabricación y material de piezas de repuesto erosionadas por el rozamiento de las partes móviles.
- Participación en la meta tecnológica 3.3.4. “Generación de energía eléctrica en bases y campamentos” de la ETID de la DGAM-SDGPLATIN.
- Capacidad de aprovechamiento de energía térmica existente en un entorno concreto, siguiendo el concepto básico de recolección energética (“energy harvesting”),

que consiste en extraer la energía que hay en el entorno para transformarla en otra aprovechable, siendo la eléctrica la forma de energía más útil una vez transformada, ya que puede almacenarse en acumuladores o utilizarse para alimentar directamente un consumidor.

El uso de recursos energéticos de autoabastecimiento reduce la vulnerabilidad que resultaría de la carencia o la interrupción de suministro eléctrico en zonas de conflicto o en zonas urbanas que han sufrido cortes de suministro por causas como catástrofes naturales, ataques terroristas, etc. La utilización del motor termo-acústico producto del GENERCUS supondría un pequeño aporte de energía en su versión inicial, pero aun así, representaría un gran avance ya que cualquier cantidad de más de 10 W es útil, y cualquier disponibilidad de energía útil totalmente autónoma puede resultar crucial bajo ciertas circunstancias.

La continuidad de la I+D+i en termo-acústica, permitirá la optimización de los motores termo-acústicos que proporcionen mayores aportes energéticos con mayor eficiencia. Esto ya es una realidad en algunos laboratorios internacionales, tras una experiencia y un trabajo investigador de casi 25 años.

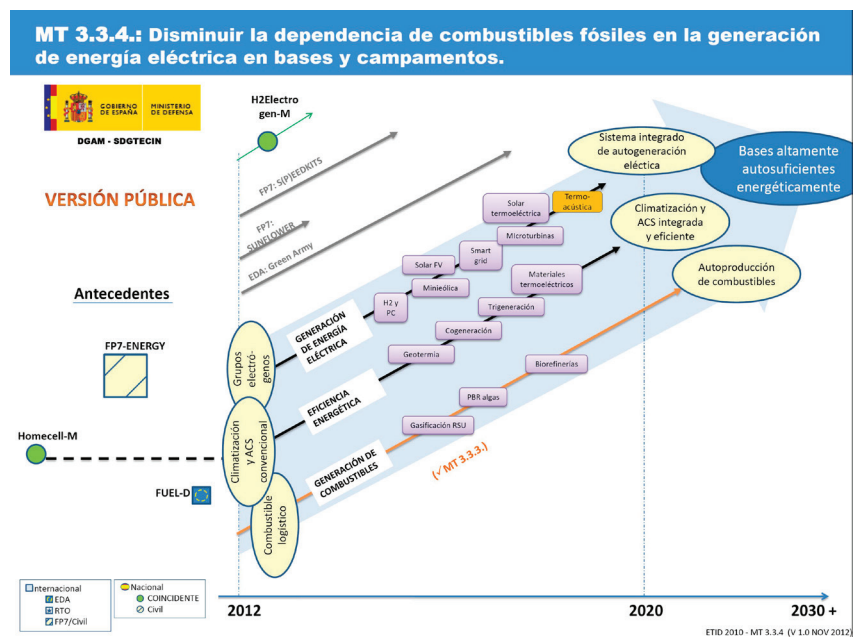


Fig. 4. Hoja de ruta correspondiente a la meta tecnológica 3.3.4. con la adición de la Termotermo-acústica como posible tecnología involucrada en su desarrollo. (Fuente: SDG PLATIN; editada por ITM)