

# Como socios energéticos: Sandia National Laboratories lidera a la industria en la búsqueda de una electricidad más económica y más limpia

*As energy partners: Sandia National Laboratories leads industry in the quest for economic and cleaner electricity*

Sandia National Laboratories (EEUU)

DOI: <https://doi.org/10.6036/8449>

Sandia National Laboratories trabaja con tres socios industriales para comercializar un sistema de energía distribuida capaz de producir electricidad de forma más económica, más limpia y más eficiente. Los Laboratorios han firmado por tres años, unos Acuerdos Cooperativos de Investigación y Desarrollo (CRADA) con

*Peregrine Turbine Technologies* (Wiscasset – Maine), *Xdot Engineering and Analysis* (Charlottesville – Virginia) y *Flowserve Corp.* (Irving – Texas).

*“Estos acuerdos nos ofrecen el camino para incorporar a la industria lo que nosotros necesitamos y lo que ella necesita, identificando la ruta de comercialización de una tecnología que cambia las reglas de juego”, dice Gary Rochau, Director en Sandia de Conceptos Nucleares Avanzados. “El objetivo es duplicar la eficiencia para convertir el calor en electricidad sin utilizar agua y hacerlo económicamente, tanto como lo es con el vapor”.*

Sandia está desarrollando la tecnología del ciclo cerrado Brayton por recompresión de dióxido de carbono supercrítico (S-CO<sub>2</sub>), un sistema de generación de energía que podría aumentar el índice de eficiencia de conversión como mínimo hasta el 50%, mayor que la tecnología convencional del vapor. El ciclo Brayton se denomina por el ingeniero mecánico del siglo XIX **George Brayton**, que desarrolló su método calentando aire en un espacio cerrado y liberándolo después para producir energía sobre un eje o para expulsarlo como en una turbina de reacción.

El fluido de

trabajo que Sandia propone para el ciclo Brayton es S-CO<sub>2</sub>, producto químicamente estable, de bajo costo, no tóxico ni inflamable, y de fácil adquisición. *“Se trata básicamente de una turbina de reacción trabajando en ciclo cerrado con S-CO<sub>2</sub> como fluido de trabajo”, dice Darryn Fleming, principal investigador para la Tecnología Avanzada de Reactores en el programa del Departamento de Energía (DoE), Energía Eléctrica por Transformación Supercrítica.*

En el ciclo de energía más común, el de Rankine, el agua a presión hierve para producir vapor que posteriormente expande en una turbina. La eficiencia del ciclo es alrededor del 33%, lo que significa que el 33% de la energía térmica aportada al fluido se convierte en electricidad. *“Solo un 1% de eficiencia en una central energética que se traslada al mercado supondría millones de dólares por menor combustible quemado para producir la misma cantidad de electricidad”, dice Fleming. “Este uno por ciento de mejora en la eficiencia reduce alrededor del 2,9% la emisión de gases de efecto invernadero. Y si llegamos a aumentar esa eficiencia al 50%, las emisiones se reducirían un 34%. Los costos para el consumidor se reducirían a medida que la eficiencia mejora y se consumirían menos recursos naturales”.*

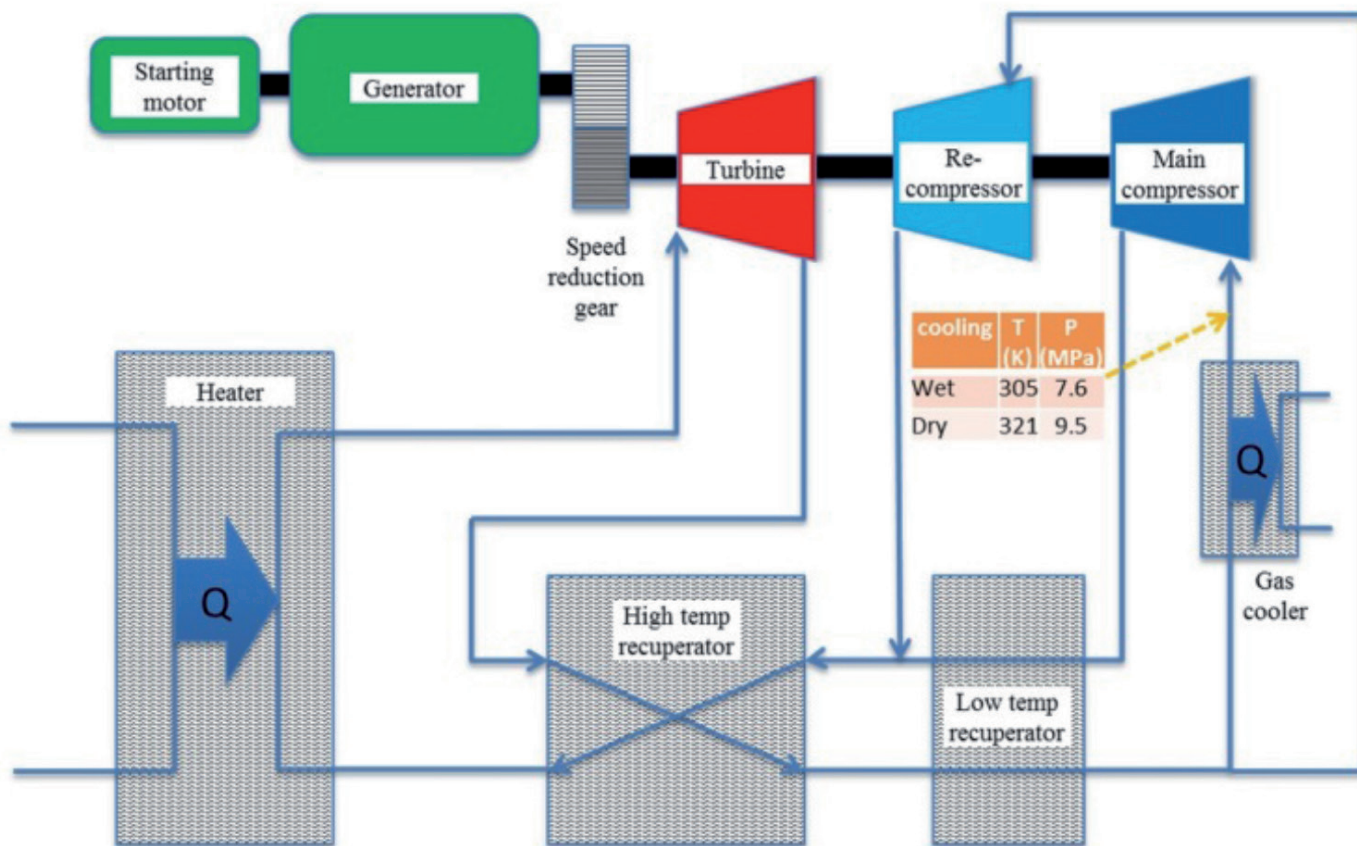
## UN RETO MEDIOAMBIENTAL PARA LOS COMPONENTES

La razón de tan alta eficiencia en el ciclo Brayton S-CO<sub>2</sub> es que la sensible diferencia de temperatura entre la descarga caliente de la turbina y la descarga fría del compresor origina una transmisión de calor al ciclo que aporta la mayoría de la adición de calor al fluido a alta presión. Se evita así el calor perdido mientras se condensa el vapor a temperatura constante del ciclo de Rankine.

Sandia ha estado ensayando diversos componentes, cojinetes, retenes y cambiadores de calor próximos o por encima del punto crítico en que la densidad del dióxido de carbono está cercana al líquido



El investigador principal de Sandia, Darryn Fleming, rodeado del equipo térmico de laboratorio de 1 MW con ciclo Brayton S-CO<sub>2</sub>



En el ciclo cerrado Brayton por recompresión se indica con flechas el flujo del dióxido de carbono supercrítico: partiendo de la esquina inferior izquierda, se calienta el S-CO<sub>2</sub> y se envía a una turbina donde se produce energía; después va a través de los recuperadores (cambiadores de calor), donde el S-CO<sub>2</sub> caliente cede calor a un S-CO<sub>2</sub> más frío. Ambos, a través del compresor o del recompresor retornan al equipo de calentamiento y cierran el circuito

do pero con muchas propiedades de gas. Estos ensayos han mostrado que varios elementos del sistema no disponen aún de la madurez tecnológica necesaria. "Para llegar a este mercado, necesitamos aumentar el nivel de fiabilidad técnica de numerosos componentes y procedimientos, particularmente retenes, cojinetes y cambiadores de calor", dice Fleming.

Sandia convocó como oportunidad de negocio federal la búsqueda de socios industriales y las empresas Peregrine, Xdot y Flowserve estuvieron entre las muchas respuestas.

Peregrine trabaja con Sandia en un cambiador de calor térmicamente apropiado que pueda soportar las fuertes sollicitaciones térmicas del ciclo Brayton. "Utilizamos nuestra experiencia en el diseño de las partes calientes de turbomáquinas y la aplicamos al diseño de un cambiador de calor para reducir los daños normalmente causados por fuertes oscilaciones de temperatura", dice David Stapp, presidente de Peregrine. "Este diseño abrirá las puertas a cambiadores de calor competitivos que cumplan los requisitos del cliente en aplicaciones comerciales".

Xdot está desarrollando un cojinete de lámina que soporte el eje de turbina gi-

rando a elevada velocidad en S-CO<sub>2</sub>. "Los rodamientos de bolas no trabajan bien en ambiente de S-CO<sub>2</sub>", nos dice el fundador de Xdot, Erik Swanson. "Tenemos un cojinete de lámina que puede ser lubricado directamente por el S-CO<sub>2</sub> con mejores resultados y a mejor precio – una mejor solución".

El retén de alta intensidad de Flowserve está diseñado para mantener la estanqueidad con el S-CO<sub>2</sub> entrando en la turbina a 700°C y 300 kg/cm<sup>2</sup>. "Son muy altas temperaturas y presiones", dice Fleming. "Los cierres pueden perder y nosotros necesitamos que no lo hagan para no enviar CO<sub>2</sub> a la atmósfera".

Lionel Young, director de tecnología avanzada en Flowserve, expone que su empresa partió de considerar retenes que podrían dar resultado con S-CO<sub>2</sub>. "Aunque las altas presiones y velocidades de esta aplicación no son nuevas para Flowserve, no habíamos diseñado un cierre para esta extrema presión y temperatura". "La pieza crítica ha sido el diseño del cierre secundario dinámico. La mayoría de piezas son de tecnología convencional, pero el cierre dinámico, que debe ser capaz de deslizarse y sellar, debe hacerlo a esas extremas presiones y temperatura sin pérdidas".

### POSIBILIDAD DE ENSAYOS A ALTA TEMPERATURA Y PRESIÓN

Sandia ofrece a sus socios un equipo de prueba del ciclo cerrado Brayton por recompresión de S-CO<sub>2</sub> con 1 MW térmico, que puede llevar a cabo ensayos dinámicos a medida que prueba cojinetes o retenes. De este modo Sandia ayuda a las empresas a probar el resultado de sus tecnologías con CO<sub>2</sub> supercrítico.

"El ir a temperaturas y presiones que exceden con mucho lo habitual en metales usuales no es trivial", dice Fleming. "Los ensayos a elevada temperatura y presión con CO<sub>2</sub> supercrítico son complejos, caros y de alto riesgo. Debemos plantearnos unas pruebas múltiples y amplias aplicando alta temperatura y alta presión. Eso ayuda a colocar productos en el mercado más rápido y con menos riesgo".

Las tres empresas han dado pasos y desarrollado prototipos con apoyo técnico de Sandia y ensayos posibilitados por los acuerdos de la Agencia con empresas o universidades para la investigación y el desarrollo.

"Ha sido excelente trabajar con un laboratorio nacional", dice Swanson. "Disponen de grandes recursos. Partimos de nuestra tecnología y a medida que avanza

el programa avanzamos con los datos obtenidos en los ensayos de esta aplicación extrema".

Young dice que Flowserve tiene limitadas posibilidades de realizar ensayos con los requisitos de temperatura del ciclo Brayton S-CO<sub>2</sub>. "Aunque podemos ensayar un prototipo a la presión y velocidad plenamente exigidas, dependeremos de Sandia para la alta temperatura". "La colaboración entre nuestro equipo y el de Darryn ha sido excelente. Son abiertos y útiles, y creemos que el resultado será un avance en la tecnología de sellado".

Stapp manifiesta que la colaboración con los expertos de Sandia ha sido inestimable: no podría ser mejor.

### DIRIGIÉNDOSE A UNA DEMOSTRACIÓN DE 10 MEGAVATIOS

El objetivo de Sandia y el DoE es disponer en los laboratorios de un ciclo Brayton S-CO<sub>2</sub> de 10 MW comercialmente probado en 2020. "Ahora es momento de utilizar esta tecnología y construir el equipo de demostración", dice Fleming. "Es preciso que sea de 10 MW, pues es cuando las organizaciones empresariales se convencen. No se interesan por pequeñas unidades de laboratorio. Necesitamos un sistema comercialmente desarrollable".

"La tecnología Brayton puede utilizar energía solar, biocombustibles y gas natural para producir electricidad para el mercado de la energía distribuida", dice Rochau. "La generación eléctrica distribuida

es producir energía en un punto cercano al consumo, frente a la generación centralizada de gran dimensión que requiere transmisión a gran distancia y distribución local. La transmisión y la distribución suponen la mitad del costo del suministro eléctrico".

Rochau agrega que Sandia está trabajando con las tres empresas para poner en el mercado una tecnología Brayton creada, fabricada y exportable desde EE.UU. "Nosotros les ayudamos y ellos nos ayudan. Si ellos ven el mercado y nosotros aportamos la ciencia, conseguiremos la ingeniería preparada para acceder al mercado y eso es la meta. No queremos novedades que nadie pueda utilizar".

## NOTAS DEL TRADUCTOR

### Fluidos supercríticos

Se denomina en termodinámica punto crítico de una sustancia a los valores del diagrama presión/temperatura en los que el volumen del líquido es igual al que ocuparía una masa igual de vapor o, dicho de otro modo, en el cual las densidades del líquido y del vapor son iguales. Más allá de ese punto, la situación se denomina supercrítica. El fluido que más se usa en esas condiciones es el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que es barato y fácilmente disponible. Su empleo principal es como disolvente ecológico porque no es tóxico, ni inflamable y se puede recuperar con facilidad. La presión y temperatura críticas del CO<sub>2</sub> son 73 atmósferas y 31°C, respectivamente. En el caso del agua son 221 atmósferas y 374 °C, respectivamente.

En estado supercrítico, el CO<sub>2</sub> se emplea para producir extractos, desalcoholizar bebidas, descafeinado, purificación o fraccionamiento de hidrocarburos, desinfección, purificación de aguas residuales, etc.

### Ciclos termodinámicos

Son la representación de los procesos de transformación de la energía térmica (calor aportado) en energía dinámica (trabajo). Según el medio empleado en la transformación (agua, aire, etc.) se tienen diferentes tipos.

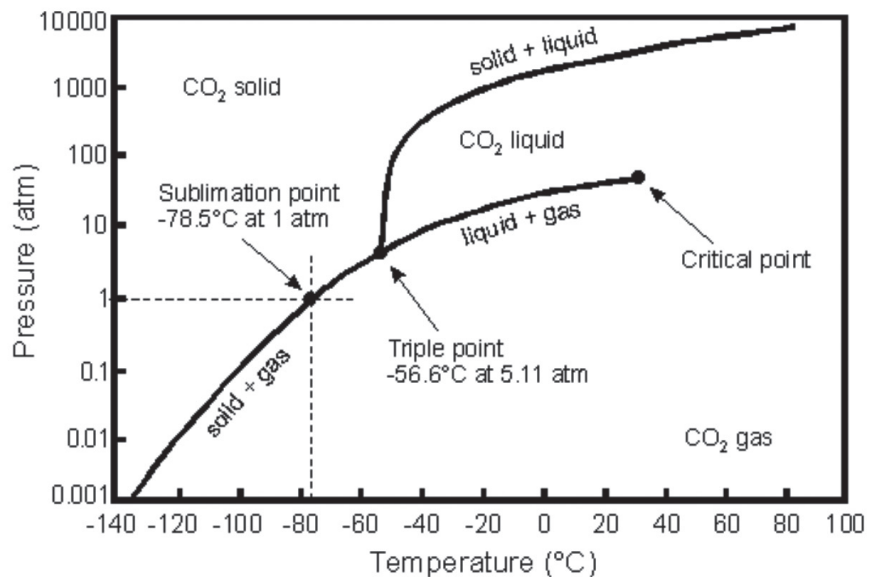
Dejando aparte los aplicados en motores de combustión interna, los más utilizados sobre todo para la generación eléctrica son los llamados de Rankine y de Brayton.

El ciclo de Rankine utiliza agua-vapor como medio y la fuente térmica aplicada a una caldera puede provenir de combustibles fósiles o renovables, energía solar, fisión nuclear, etc. El rendimiento entre la energía eléctrica obtenida y la potencia calorífica aportada por la fuente térmica puede superar ligeramente el 30%.

El ciclo Brayton emplea el aire precomprimido como medio y en él se realiza la combustión, siendo la expansión de los gases la productora del trabajo: es típico de las turbinas de gas, tanto de tipo axial como de propulsión (jet). Si el ciclo es regenerativo y además tiene compresión con refrigeración intermedia es algo superior al 40 %.

El llamado ciclo combinado une en dos procesos consecutivos ambos ciclos, con un primero de Brayton de turbina axial movida por el combustible gaseoso y un segundo de Rankine de turbina de vapor obtenido total o parcialmente con los gases de escape de la turbina de gas. Su rendimiento supera el 50% y en algunos modelos actuales se afirma que puede alcanzar el 60%.

La investigación expuesta por Sandia pretende conseguir rendimientos comparables con el ciclo combinado mediante un único Brayton, utilizando como medio CO<sub>2</sub> supercrítico en una sola etapa de generación. Ello supondría instalaciones más simples, haciéndolo muy ventajoso para la cogeneración, las fuentes térmicas solares, el mini-nuclear, etc.



Pressure-Temperature phase diagram for CO<sub>2</sub>.