

AGUA Y ENERGÍA NUCLEAR: UN BINOMIO IMPRESCINDIBLE

Antonio González Jiménez

Director de Estudios y Apoyo Técnico

Foro de la Industria Nuclear Española

1. INTRODUCCIÓN

Las centrales termoeléctricas utilizan para su funcionamiento el calor procedente de la combustión de materiales fósiles en una caldera o el producido por la fisión del uranio en un reactor nuclear. Esta energía térmica ha de transformarse en energía mecánica, el giro de una turbina de vapor, que acciona a su vez un alternador, convirtiendo la energía mecánica en electricidad.

En estas centrales, el fluido de trabajo, el agua, circula en circuito cerrado desde la caldera en las centrales fósiles o el reactor en las nucleares (foco caliente), donde se convierte en vapor a alta presión y temperatura, hasta la turbina, haciéndola girar y perdiendo para ello parte de su energía térmica. El vapor de escape de la turbina, a baja presión, se condensa en un cambiador de calor denominado condensador por cuyos tubos circula agua de refrigeración (foco frío) procedente del mar, de embalses o ríos. El condensado se bombea después a la caldera o al reactor, donde se cierra el circuito. La evolución del agua en este sistema sigue las leyes de la termodinámica, que imponen una considerable pérdida de energía térmica al generar energía mecánica. **El agua de este circuito de trabajo no está en ningún momento en contacto con el combustible fósil o nuclear, ni con el agua de refrigeración del condensador.**

Es decir, cuando se menciona el agua en una central térmica se está hablando de dos circuitos:

- Un circuito cerrado de agua natural de pureza controlada, que sigue la evolución del ciclo termodinámico agua-vapor, para transformar parte de la energía térmica que recibe del combustible en energía mecánica en la turbina, cediendo el resto en el condensador al segundo circuito.
- Un segundo circuito de refrigeración para condensar el vapor de escape. Este circuito, que es abierto, utiliza agua procedente del mar o de cursos fluviales, que se devuelve a su procedencia ligeramente más caliente.

2. EL AGUA Y LAS CENTRALES NUCLEARES

De forma particular, **en las centrales nucleares la utilización del agua no difiere conceptualmente de las centrales térmicas clásicas**. Las reacciones de fisión en cadena del uranio enriquecido de los elementos combustibles que constituyen su núcleo ceden su calor, directa o indirectamente, al circuito cerrado agua/vapor. En los reactores de agua en ebullición el agua se vaporiza directamente en la misma vasija del reactor; el vapor a alta presión va después a la turbina; el vapor de escape, a baja presión, se condensa en el condensador y el agua condensada regresa a la vasija como agua de alimentación, todo ello en circuito cerrado. En los reactores de agua a presión se utiliza, además, un circuito cerrado de agua (llamado primario) que no se convierte en vapor y que circula por el exterior de los elementos combustibles, trasladando el calor recibido a un generador de vapor en donde lo entrega al circuito cerrado agua/vapor (llamado secundario).

En ambos casos, la condensación del vapor de escape de la turbina corre a cargo del agua de refrigeración exterior (foco frío), que circula por los tubos del condensador y, por tanto, no está en contacto con ningún material ni fluido que haya pasado por el reactor. La necesidad de agua de refrigeración exterior está determinada por la energía térmica perdida en el ciclo agua-vapor que, según las leyes termodinámicas, va desde 1,25 a 2 kWh térmicos por cada kWh eléctrico generado (rendimiento termodinámico del 33%), según haya o no sobrecalentamiento del vapor y según la temperatura del foco frío. La cifra más alta corresponde a las centrales nucleares de agua ligera, que utilizan vapor saturado, no sobrecalentado, a causa de la limitación de temperatura del foco caliente impuesta por la presión máxima de la vasija.

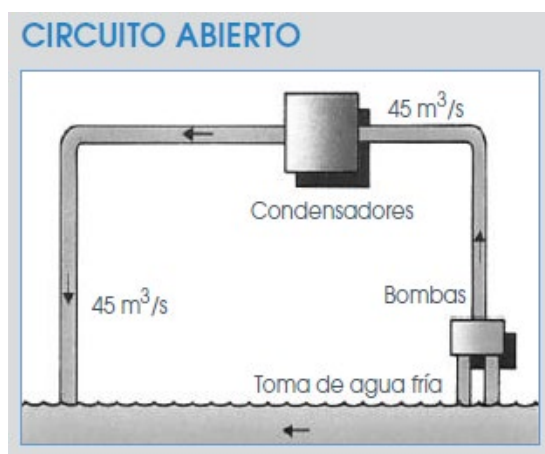
Una central nuclear de agua ligera de 1.000 MWe entrega constantemente al agua de refrigeración exterior unos 2.000 MWt, aumentando su temperatura ligeramente. Otros reactores avanzados, refrigerados por gas o por metales líquidos, pueden utilizar ciclos de agua-vapor de más alta temperatura y mayor rendimiento, parecidos a los de las centrales térmicas clásicas, perdiendo unos 1.250 MWt por cada 1.000 MWe.

En el circuito abierto, el agua de refrigeración de los condensadores se toma del mar y se devuelve a él lo suficientemente lejos de la toma para que el calor que transporta no influya en la temperatura de la toma. **Si el agua procede de un río, lago o embalse próximos, se toma aguas arriba de la central y se vierte aguas abajo, es decir, se devuelve enteramente al medio del que se tomó.** Este esquema, válido para las localizaciones costeras o ríos muy caudalosos, se conoce como circuito abierto de refrigeración, y con él no existe prácticamente consumo de agua.

Los aproximadamente 2.000 MWt perdidos en el ciclo equivalen a 480 millones de calorías por segundo (Mcal/s). 1 caloría calienta 1 gramo de agua 1 grado centígrado, luego 1 Mcal calienta 1Mg (es decir, 1 tonelada o 1 m³ de agua) 1 grado centígrado. Por

consiguiendo las 480 Mcal/s calientan un caudal de $Q \text{ m}^3/\text{s}$ una temperatura Δt grados, siempre que $Q \times \Delta t = 480$.

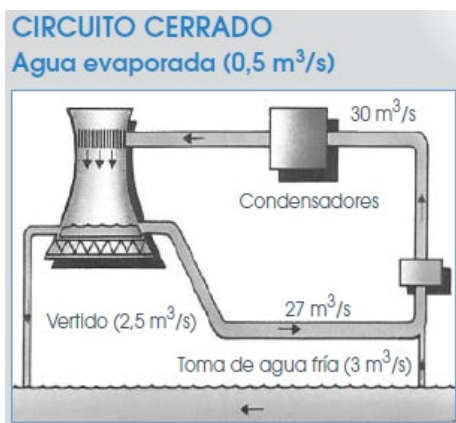
En el caso de localización costera no hay problema de refrigeración, pues no hay limitación en el caudal disponible que se toma del mar. Hay que alejar, sin embargo, el punto de descarga de agua caliente del punto de toma para asegurar su dilución sin alterar localmente las condiciones ambientales del mar.



Refrigeración en circuito abierto

El problema puede surgir en localizaciones en el interior, cerca de cursos de agua, donde las autoridades hidrográficas pueden establecer, y establecen, limitaciones tanto en los caudales de agua que se pueden captar como en los aumentos máximos admitidos en su temperatura aguas abajo de la central (no más de 3 °C de aumento de temperatura y capacidades máximas en función del caudal del río). Es fácil calcular que una captación de unos 40 m³/s, normal en una central de 1.000 MW, calentándose 12 °C y mezclándose después con 120 m³/s no captados dan aguas abajo del río 160 m³/s de agua con un aumento de temperatura de 3 °C. **No hay consumo de agua, pero sí utilización necesaria.**

En el ciclo cerrado, si no se dispone de ningún curso de agua abundante cerca de la central, se puede utilizar un embalse artificial que sirva para refrigerar el agua por evaporación natural antes de devolverla al río a la temperatura adecuada.

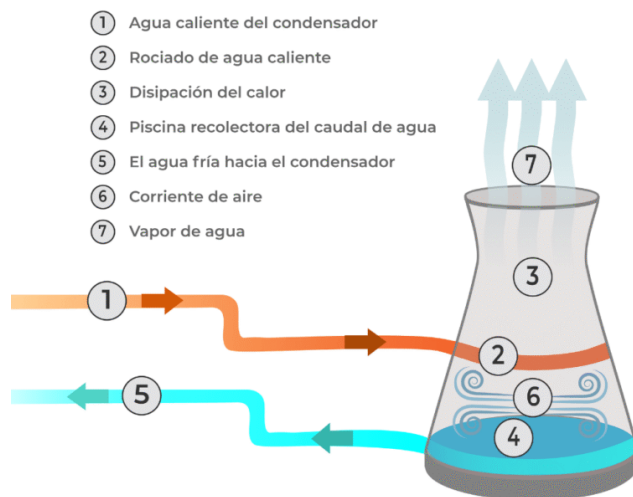


Refrigeración en circuito cerrado

Más frecuentemente se utilizan torres de refrigeración que mantienen la temperatura del agua a bajos niveles. El agua de refrigeración que sale caliente del condensador se lleva a la parte superior de las torres de refrigeración, desde donde cae en forma de lluvia y se evapora en parte en contacto con el aire ascendente que entra por la base. El resto del agua, que ha aportado el calor de evaporación, se recircula después al condensador. Este esquema se conoce como circuito cerrado de refrigeración. En este caso, la cantidad de agua tomada del medio acuático es mucho menor, ya que solo se requiere la necesaria para reponer el agua evaporada en las torres de refrigeración.

Cada central nuclear tiene una concesión de consumo de agua. Por ejemplo, una central nuclear tipo de 1.000 MW utiliza entre 15 y 20 hm³/año. De esta cantidad se devuelve al medio alrededor del 95%. En todos los casos la devolución del agua al mar, río o embalse, se vigila de acuerdo con la normativa vigente y después de pasar a través de un sistema de enfriamiento, para que no haya un cambio térmico brusco en el ecosistema. **Esta agua sólo interviene en el circuito de refrigeración, por lo que nunca puede contaminarse.**

Esquema de funcionamiento de las torres de refrigeración



Esquema del funcionamiento de las torres de refrigeración