

## **CAPÍTULO 3. EL CONDENSADOR Y LOS SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO**

El condensador y el sistema de enfriamiento conforman el conjunto de elementos encargado de la condensación del vapor de salida de la turbina y de la evacuación del calor producido en dicha condensación.

### **3.1 CONDENSADORES**

La función del condensador es la de condensar el vapor de salida de la turbina de vapor evacuando el calor de vaporización a través del sistema de enfriamiento seleccionado en cada caso. La temperatura del condensado determina la presión en el lado del vapor del condensador. Esta presión es denominada presión de salida de la turbina y por lo general es una presión de vacío. El decremento en la temperatura del condensado llevará consigo una disminución de esta presión. Dentro de unos límites la disminución de la presión aumentará la eficiencia térmica de la turbina.

El condensador desempeña también las siguientes funciones secundarias:

- El condensado es recogido en un depósito dentro del condensador desde donde las bombas realizarán su labor de succión.
- Proveer un almacenamiento a corto plazo de condensado.
- Disponer de un punto de recogida de baja presión para sumideros de condensado de otros sistemas de la planta.
- Evitar la aireación del condensado producido.

Un condensador típico de una planta térmica tiene el siguiente esquema de funcionamiento, con sistema de enfriamiento por agua:

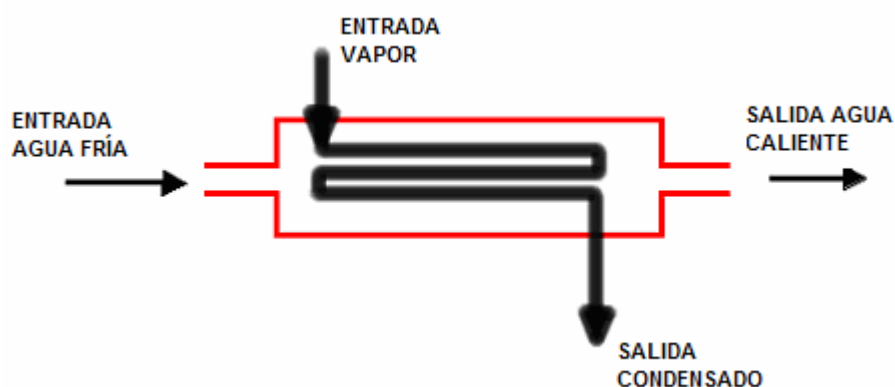


Figura 4. Esquema funcionamiento condensador

La mayoría de los condensadores de las plantas de potencia son intercambiadores de calor de carcasa y tubo. Este tipo de condensadores son clasificados a su vez en:

- De presión simple o presión múltiple, dependiendo de si el flujo de enfriamiento crea una o más presiones de salida de la turbina.
- Según el número de tubos, dependientes del número de revestimientos o envueltas de la turbina de baja presión.
- De paso simple o doble paso, dependiendo del número de corrientes de enfriamiento paralelas a través de cada carcasa.

Otros tipos de condensadores son:

- De placas, consistente en una serie de placas paralelas que proveen de un camino o trayectoria para el vapor y la corriente de enfriamiento, en concreto para el agua de enfriamiento. Los condensadores de placa son usados principalmente en plantas de potencia pequeñas.
- De contacto directo, donde el agua es pulverizada y rociada directamente dentro del vapor. Este tipo de condensador se usa en aplicaciones donde el agua de enfriamiento es del mismo tipo y calidad que el condensado. Los sistemas de enfriamiento seco, que serán descritos más a fondo en apartados posteriores, utilizan algunas veces condensadores de contacto directo.

Las distintas partes de los condensadores implicadas en la transferencia de calor entre el vapor y la corriente de enfriamiento deben tener las siguientes propiedades:

- Ser resistentes a la corrosión tanto por parte del vapor como del fluido de enfriamiento.
- Tener una mínima resistencia al flujo de calor del vapor a través del material hasta la corriente de enfriamiento.
- Proveer de mecanismos para la eliminación de posibles depósitos orgánicos e inorgánicos en las superficies de transferencia de calor en contacto con el fluido refrigerante.

### **3.2 SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO**

Algunas estaciones de potencia tienen un sistema de enfriamiento por agua de ciclo abierto de proceso directo, donde el fluido es tomado de una de masa de agua, tales como un río, lago u océano, bombeada a través del condensador para posteriormente ser descargada a la fuente. En plantas interiores alejadas de grandes superficies de agua se opta por sistemas de enfriamiento húmedo de ciclo cerrado con torres de enfriamiento. Para plantas situadas en áreas secas remotas, zonas áridas o desérticas, con dificultades para la concesión de agua se implantan los sistemas de enfriamiento seco de ciclo cerrado con condensadores que no requieren de agua para el enfriamiento (aerocondensadores). Los sistemas híbridos de enfriamiento son usados en circunstancias particulares.

La elección del tipo de sistema de refrigeración usado está íntimamente ligado a la localización de la planta y en la disponibilidad de agua para propósitos de enfriamiento. Dicho proceso de elección está también influenciado por el impacto ambiental que puedan causar estos sistemas, y que se discutirán más adelante.

**3.2.1 Sistemas de enfriamiento de ciclo abierto**

Los sistemas de ciclo abierto de proceso directo, pueden ser usados en plantas situadas junto a grandes superficies de agua tales como mares, lagos o grandes ríos que tienen la capacidad de disipar el calor evacuado en el ciclo de vapor. En sistemas abiertos el agua bombeada desde la fuente suministradora pasa a través del condensador y es descargada de nuevo a la fuente pero a otro punto remoto, alejado del de succión, para evitar que el calor transferido al agua pueda volver a entrar en el ciclo.

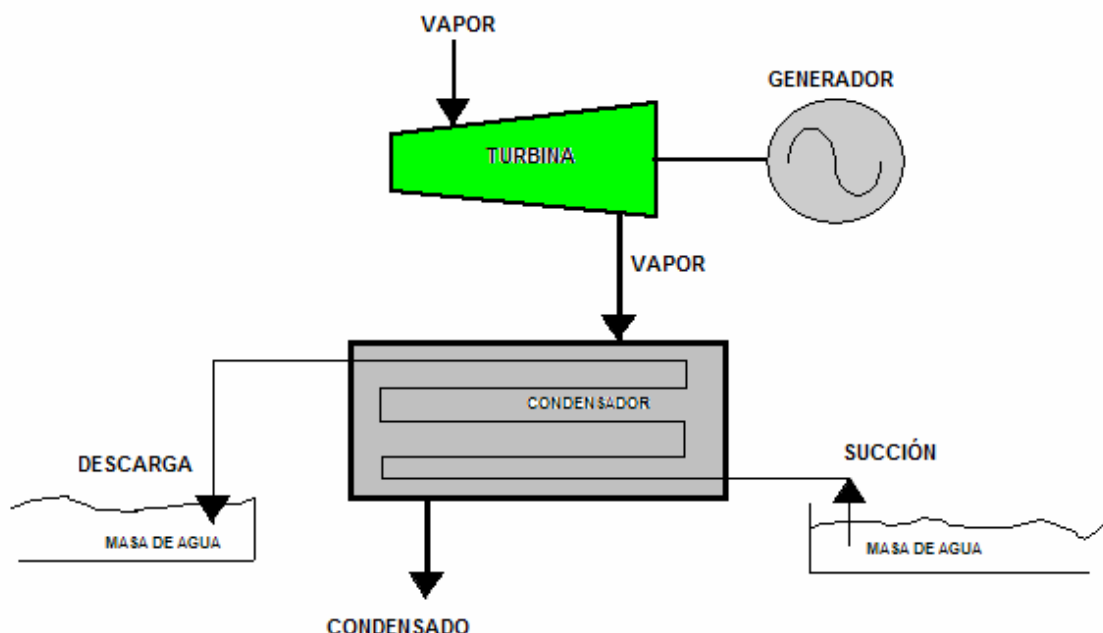


Figura 5. Sistema de enfriamiento por agua de ciclo abierto

Los sistemas abiertos tienen por lo general altos caudales unitarios y unos relativamente bajos calentamientos para limitar el aumento de temperatura en las aguas receptoras. Una planta típica de 350 MW tendría un flujo en torno a los 15000-20000 l/s.

Los sistemas de enfriamiento con lagos, embalses o grandes balsas difieren un poco de los verdaderos sistemas abiertos ya que la temperatura del

lago se verá incrementada debido a la recirculación de agua caliente. Este caso es el que centra el estudio que se está llevando a cabo en el presente documento, en el que se tratará de estudiar como el enfriamiento nocturno del agua puede compensar en cierta medida el aumento de temperatura de manera que aumente la viabilidad de aplicación de esta tecnología.

### 3.2.2 Sistemas de enfriamiento de ciclo abierto con torre de refrigeración auxiliar

En este sistema las torres de refrigeración están situadas en el punto de descarga del sistema abierto con el propósito de eliminar parte del calor evacuado, de manera que la carga de calor que reciba la masa de agua esté dentro de unos límites preestablecidos. Estos sistemas con torres auxiliares son muy utilizados en Alemania o Francia donde la fuente de enfriamiento se obtiene de grandes ríos. Las torres auxiliares son usadas en el período estival para limitar la temperatura del agua de descarga, normalmente por debajo de 30°C.

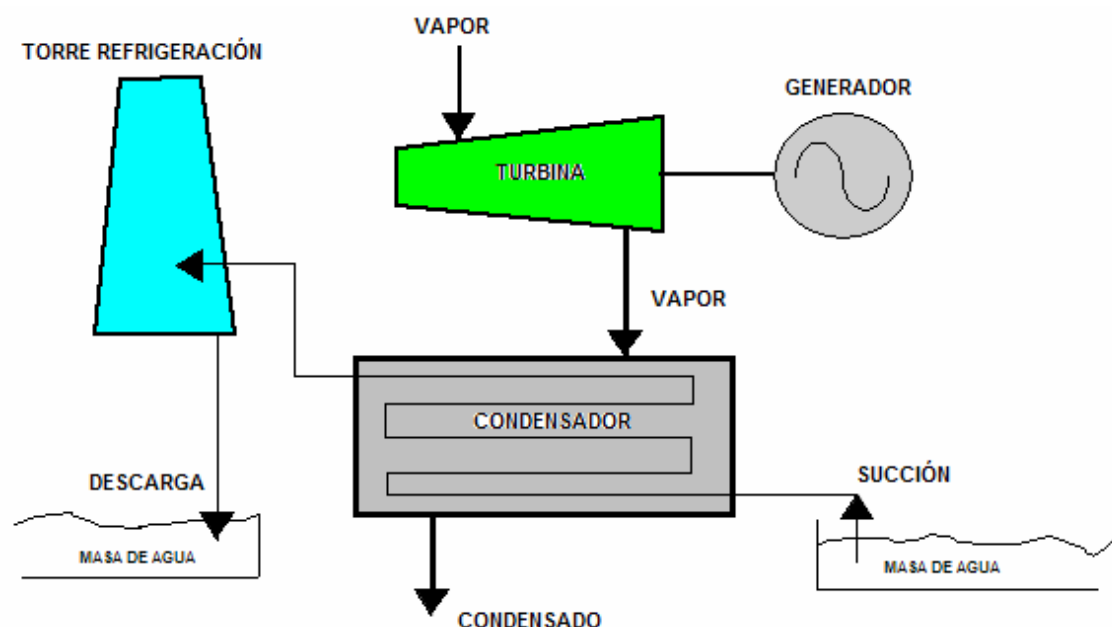


Figura 6. Sistema de enfriamiento por agua de ciclo abierto con torre auxiliar

**3.2.3 Sistemas de enfriamiento húmedo de ciclo cerrado**

En sistemas de enfriamiento húmedo de ciclo cerrado, el calor evacuado en el condensador es transferido al sistema de enfriamiento por agua. Este calor sobrante es, a continuación, descargado a la atmósfera a través de la torre de refrigeración.

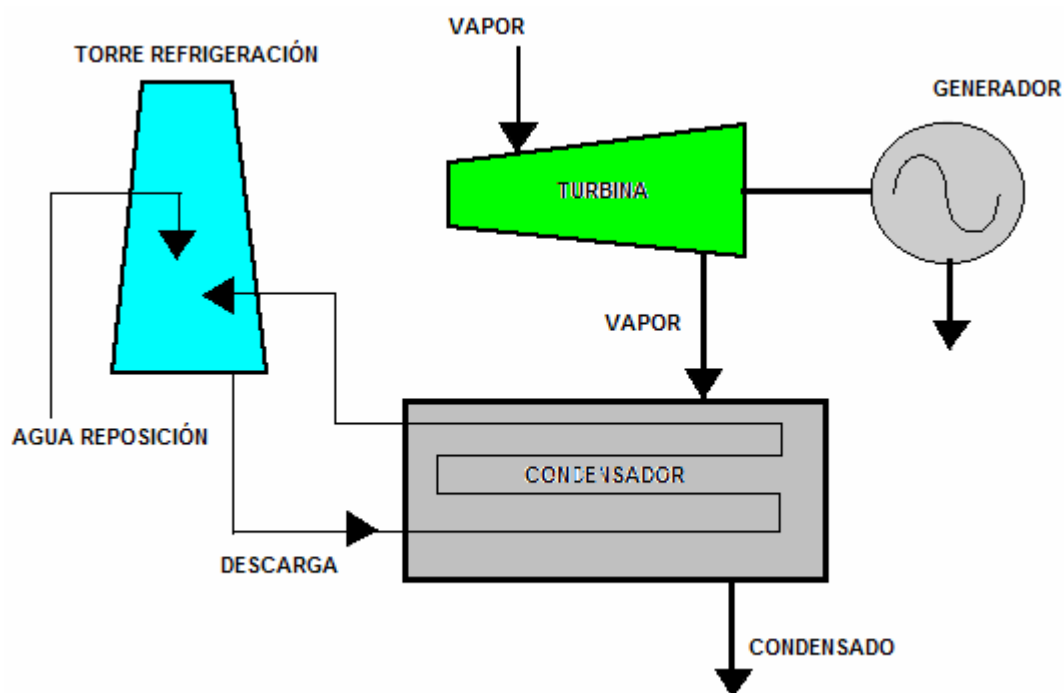


Figura 7. Sistema de enfriamiento por agua de ciclo cerrado

En la torre de enfriamiento, se extrae el calor contenido en el agua proveniente del circuito de refrigeración del condensador. El enfriamiento sufrido por el agua en una torre de refrigeración se basa en la transmisión combinada de masa y calor al aire que circula por el interior de la torre.

El agua entra siempre por la parte superior y es distribuida de tal forma que establezca el mejor contacto posible con el aire atmosférico que asciende procedente de la parte inferior de la torre. Para lograr este efecto el agua se reparte uniformemente, con ayuda generalmente de unos pulverizadores, sobre un relleno que aumenta el tiempo y la superficie de contacto entre ambos

fluidos.

En condiciones normales de funcionamiento, este contacto conduce a una evaporación de parte del agua. Como el agua debe absorber calor para pasar de líquido a vapor a presión constante, este calor se toma del líquido restante. De esta manera, el calor de vaporización del agua a la presión atmosférica se transfiere del agua de refrigeración al aire atmosférico (calor latente). El resto de calor transmitido se debe a la diferencia de temperatura entre los dos fluidos (calor sensible). El calor latente supone frecuentemente más del 90% del calor transmitido.

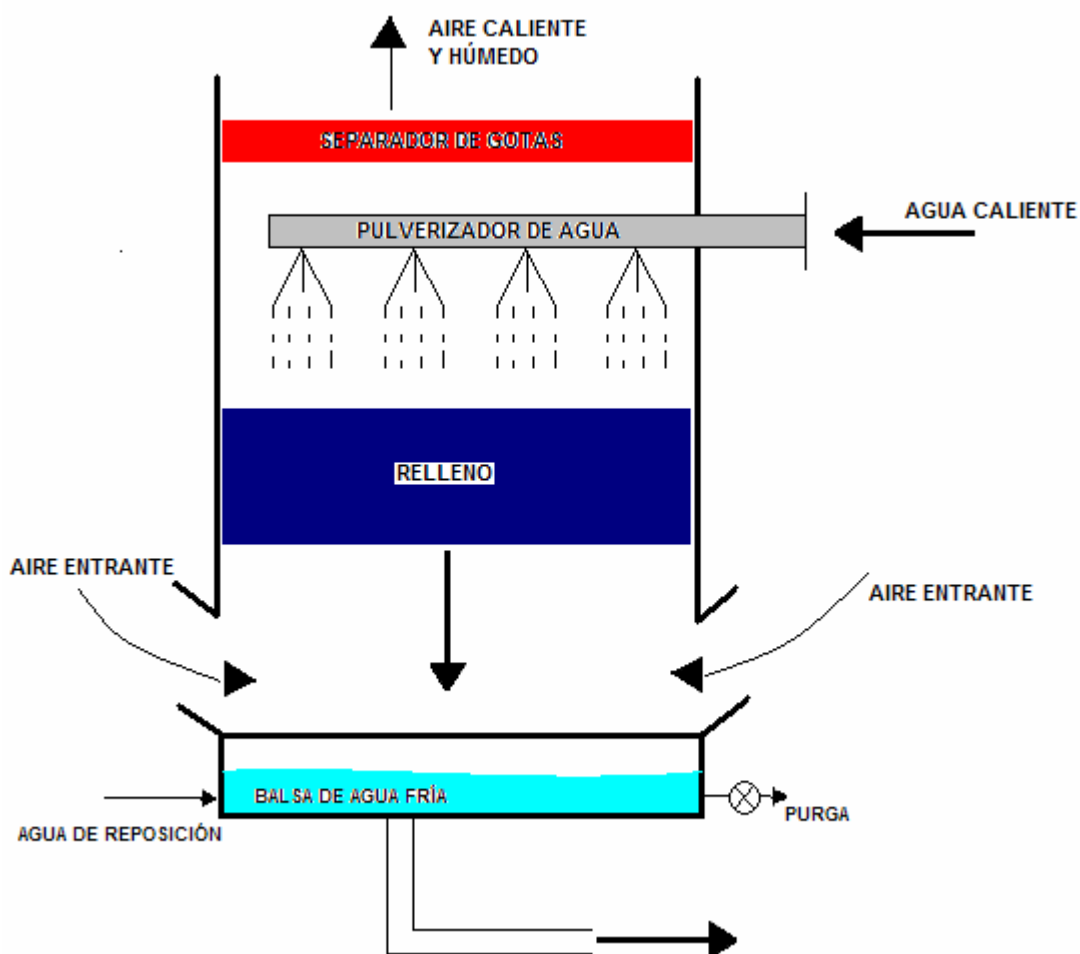


Figura 8. Esquema de flujos y componentes principales de una T.R.

En el análisis del consumo de agua en una torre de refrigeración es muy importante la relación entre el calor latente y el calor sensible transmitidos. La evaporación del agua está relacionada tan sólo con la parte latente del calor total transmitido, y es proporcional al cambio de la humedad específica. Como

la temperatura seca del aire a la entrada afecta a la relación de calores latente y sensible afecta también a la tasa de evaporación. La tasa de evaporación en las condiciones de diseño típicas, es, aproximadamente, de un 1% del caudal de agua por cada 7°C de salto térmico, que se define como la diferencia entre la temperatura del agua caliente y la temperatura del agua fría.

Además de las pérdidas por evaporación es preciso tener en cuenta las debidas al arrastre de gotas del aire saliente y a las purgas necesarias para mantener una calidad del agua aceptable. Por ello se introduce en el sistema una corriente de agua de reposición para compensar estas pérdidas de agua.

A continuación vamos a describir las características principales de los distintos tipos de torres de refrigeración, elemento básico en este tipo de sistema de enfriamiento.

#### A) Torres atmosféricas

En este tipo de torres el agua cae con el flujo cruzado con respecto al movimiento horizontal del aire, produciéndose cierto efecto de contracorriente debido a las corrientes de convección producidas por el agua caliente. El movimiento del aire depende principalmente del viento.

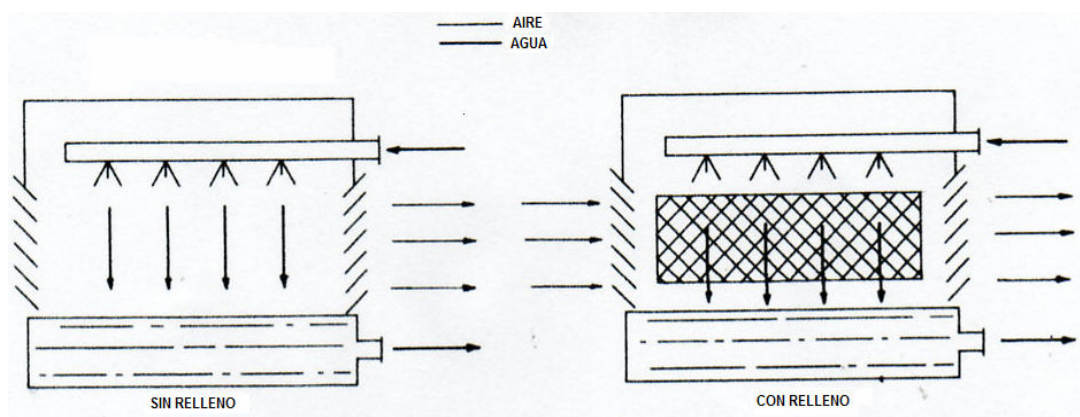


Figura 9. Torres de tiro atmosférico



Características principales:

- Vida larga con bajos costos de mantenimiento, debido a la inexistencia de partes mecánicas.
- No se produce recirculación del aire utilizado.
- Se precisa localizar la torre en un lugar despejado.
- La torre debe ser alta y estrecha, y por tanto, los gastos de bombeo son elevados.
- Debido a su altura es necesario un anclaje seguro contra el viento.
- La torre debe orientarse hacia los vientos dominantes.
- La temperatura del agua varía con la velocidad del viento y su dirección.
- El costo es casi tan alto como para una torre con elementos mecánicos.

Dentro de este tipo de torres puede distinguirse entre las que no llevan relleno y aquellas que contienen un relleno de goteo. Estas últimas tienen un comportamiento mucho mejor que las anteriores, pero en cualquier caso las torres atmosféricas están completamente anticuadas y constituyen una mínima parte de las torres existentes.

#### *B) Torres de tiro natural*

Cuando el relleno se encierra en una estructura con forma de chimenea hiperbólica, con las persianas de entrada de aire en su interior, tenemos una torre de refrigeración de tiro natural, en la que el aire es inducido a través de la torre debido a la diferencia de densidades existentes entre el aire húmedo y caliente y el aire atmosférico (más denso). El relleno puede ser de goteo o de película.

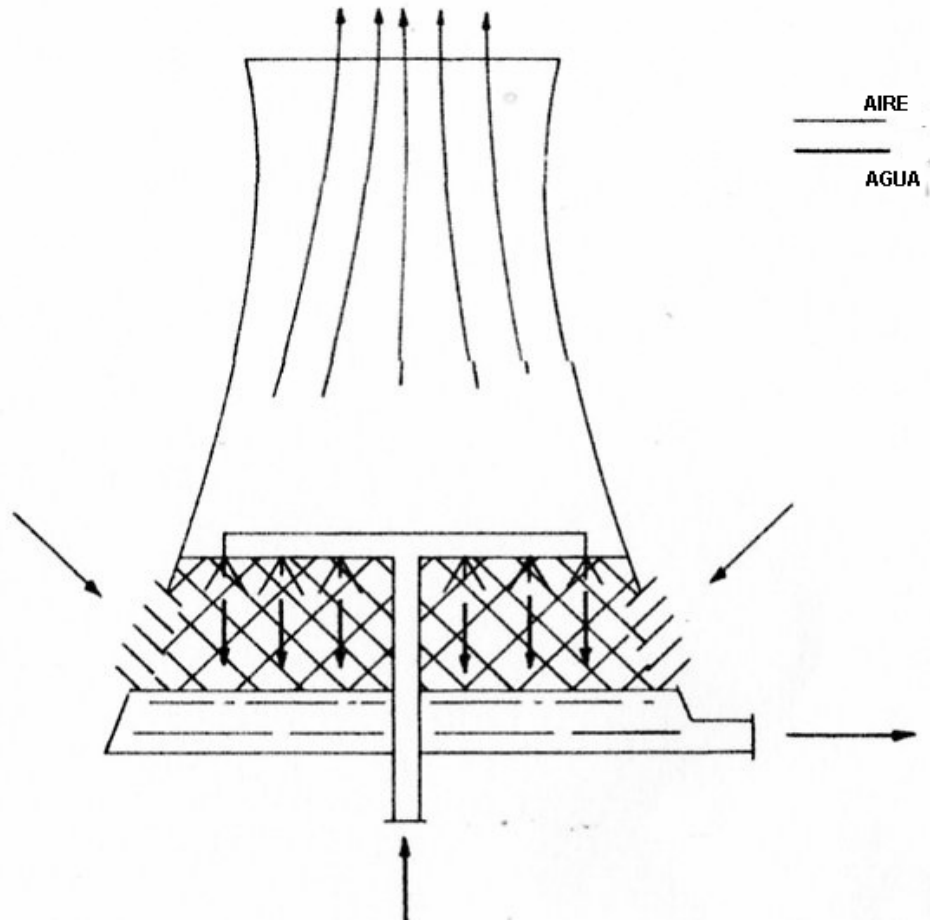


Figura 10. Torres de tiro natural

Características principales:

- Bajos costes de mantenimiento.
- Mucho mejor rendimiento que las torres atmosféricas pero inadecuadas para altas temperaturas secas del aire, ya que la temperatura de entrada del agua debe ser mayor que la temperatura seca del aire.
  - Raras veces aplicable al aire acondicionado y plantas industriales debido a la fuerte inversión inicial condicionada por la gran altura necesaria. Son muy empleadas en centrales térmicas.
- Es difícil controlar exactamente la temperatura del agua.

C) *Torres de tiro natural asistido*

Una forma de incrementar la capacidad de refrigeración por unidad de superficie, consiste en asistir el tiro natural de las torres hiperbólicas por medio de ventiladores de tiro forzado. Estos ventiladores van colocados en la parte inferior (eje horizontal), rodeando la torre.

Otra variante de este sistema, a base de torres troncocónicas y de alturas que oscilan entre los 30 y 40 metros, incluyendo también ventiladores de tiro forzado, se viene utilizando hace muchos años para capacidades pequeñas de refrigeración.

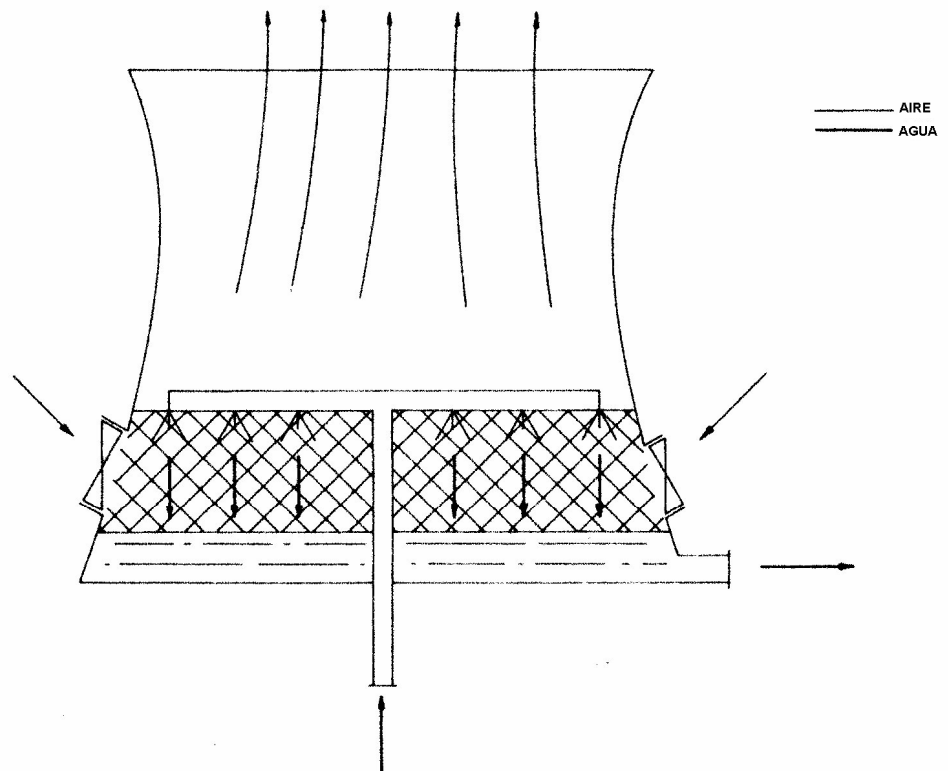


Figura 11. Torres de tiro natural asistido

Características principales:

- Estos sistemas participan en principio de las ventajas e inconvenientes señalados para las torres convencionales de tiro forzado, con la diferencia de que la altura es mayor y por tanto los efectos de recirculación quedan

disminuidos.

- Requieren un gran número de ventiladores, con el consiguiente aumento de ruido y mantenimiento.

#### *D) Torres de tiro mecánico*

La utilización de ventiladores para mover el aire a través de la torre proporciona un control total de la entrada de aire.

Características principales:

- Compactas, necesitan poca superficie.
- Control fino de la temperatura del agua fría.
- Menor altura de bombeo.
- La orientación de la torre no viene determinada por los vientos dominantes.
- Los fallos mecánicos reducen sustancialmente la fiabilidad.
- La potencia de ventilación puede ser importante, aumentando los gastos de operación.
- La recirculación del aire usado puede ser evitada, pues de otro modo la eficiencia se vería afectada.
- Los costos de operación y mantenimiento son mayores que en la torres de tiro natural
- Los ruidos y vibraciones producidos por los ventiladores pueden constituir un problema, dependiendo de la localización.

Debemos distinguir dos tipos principales:

##### *D.1) Torres de tiro forzado*

Cuando los ventiladores se sitúan en la entrada de aire de tal forma que lo impulsan a través del relleno, tenemos una torre de tiro mecánico forzado.

Características principales:

- El equipo mecánico se encuentra situado cerca del suelo en unos niveles mínimos.
- Más eficiente que la corriente inducida, ya que la presión de velocidad convertida a presión estática realiza un trabajo útil; además el ventilador trabaja con el aire frío de más densidad que en el caso del tiro inducido.
- Los equipos mecánicos se encuentran situados en una corriente de aire relativamente seca y tienen un fácil acceso para el mantenimiento.
- El tamaño del ventilador está limitado, con lo cual se necesita un gran número de pequeños ventiladores, o mayores velocidades, comparado con una instalación de tiro inducido. Esto conduce a mayor nivel de ruido, aunque la torre proporcione cierta atenuación.
- Existe tendencia a la formación de hielo en los ventiladores durante épocas frías, con el consiguiente taponamiento de la entrada de aire.
- Algunos tipos presentan problemas de recirculación del aire usado hacia la zona de baja presión creada por el ventilador en la entrada de aire, especialmente cuando la velocidad del aire es baja.

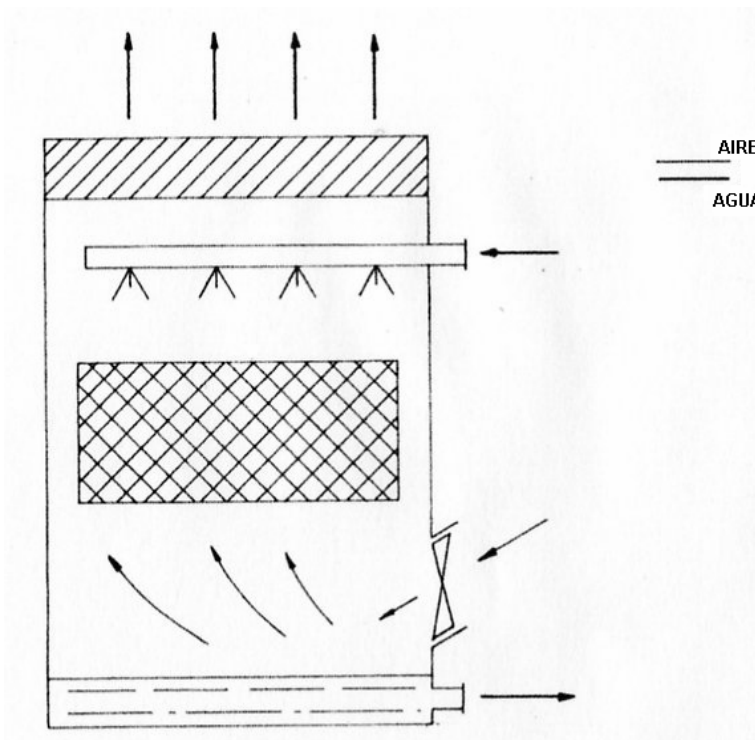


Figura 12. Torres de tiro forzado

#### D.2) Torres de tiro inducido

Es una torre de tiro mecánico en la cual los ventiladores están situados en la salida del aire, generalmente en la parte superior de la torre.

Características principales:

- Es factible instalar grandes ventiladores, de tal forma que pueden mantenerse velocidades y niveles de ruido bajos.
- El aire entra a una velocidad considerable, pudiendo arrastrar consigo cuerpos extraños. Es posible instalar filtros de aire.
- No suelen presentarse problemas de recirculación debido a las altas velocidades de salida de aire.
- Tendencia a producirse vibraciones debido a que el ventilador se encuentra montado en una superestructura.
- Los elementos mecánicos no son fácilmente accesibles y se encuentran sumergidos en una corriente de aire húmedo y caliente.

- Menos superficie ocupada que el sistema forzado, debido a la ausencia de ventiladores los lados.

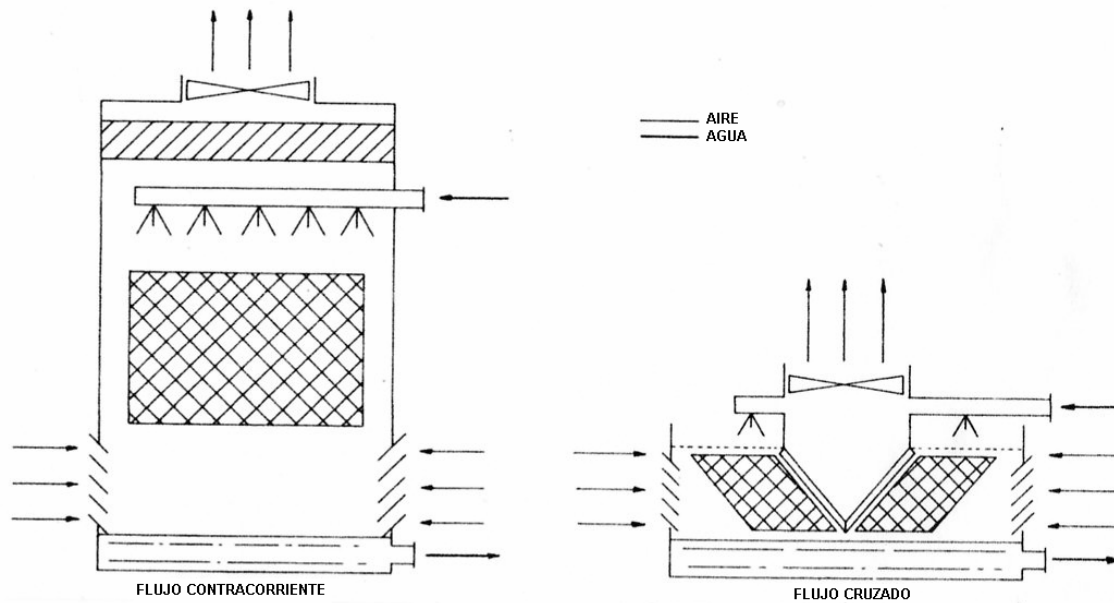


Figura 13. Torres de tiro inducido

### 3.2.4 Sistemas de enfriamiento seco de ciclo cerrado

En los sistemas secos, el calor evacuado en el condensador hacia el ambiente se consigue a través de un sistema refrigeración por aire, de manera que este calor se disipa calentando la corriente de aire.

Los sistemas secos pueden ser de dos tipos: directos e indirectos. Los sistemas directos conducen el vapor dentro de condensadores refrigerados por aire que pueden ser igualmente de tiro mecánico o de tiro natural. Los sistemas indirectos condensan el vapor en condensadores de superficie enfriados por agua, desde el cual el agua calentada es bombeada a intercambiadores de calor refrigerados por aire donde es enfriada y luego recirculada al condensador de vapor.

*A) Sistema de enfriamiento directo*

En los sistemas directos el vapor a la salida de la turbina es llevado directamente a un aerocondensador. La disipación al ambiente del calor evacuado se realiza en un solo paso, en el que el vapor es condensado dentro de los tubos de aletas, normalmente distribuidos en una configuración en A, y es luego enfriado haciendo pasar la corriente de aire a lo largo de la superficie de los tubos. De igual manera que en los sistemas de refrigeración húmeda la torre de enfriamiento seco, puede ser tanto de tiro mecánico como de tiro natural.

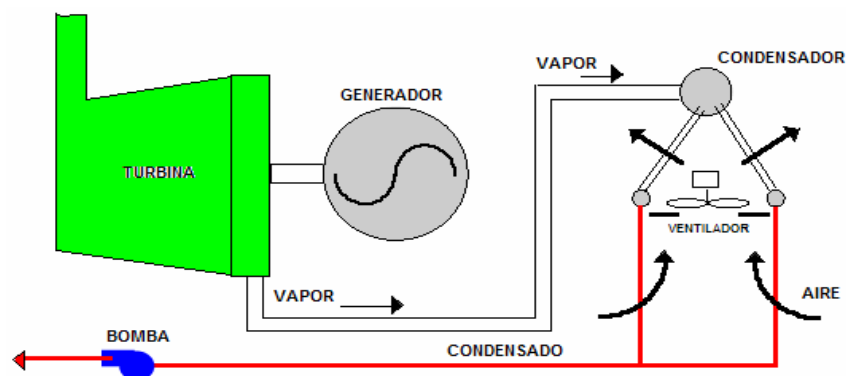


Figura 14. Sistema directo de enfriamiento seco de tiro mecánico

*B) Sistema de enfriamiento indirecto*

Los sistemas indirectos usan otro tipo de condensadores. El condensador puede ser tanto de superficie en su forma convencional de carcasa y tubo como el denominado condensador barométrico o de contacto directo, en el cual el vapor es condensado directamente mediante el rocío de agua de enfriamiento. En ambos casos el agua a través de la cual se condensa el vapor, es posteriormente circulada hacia un intercambiador de calor enfriado por aire para completar la disipación en la atmósfera del calor evacuado.



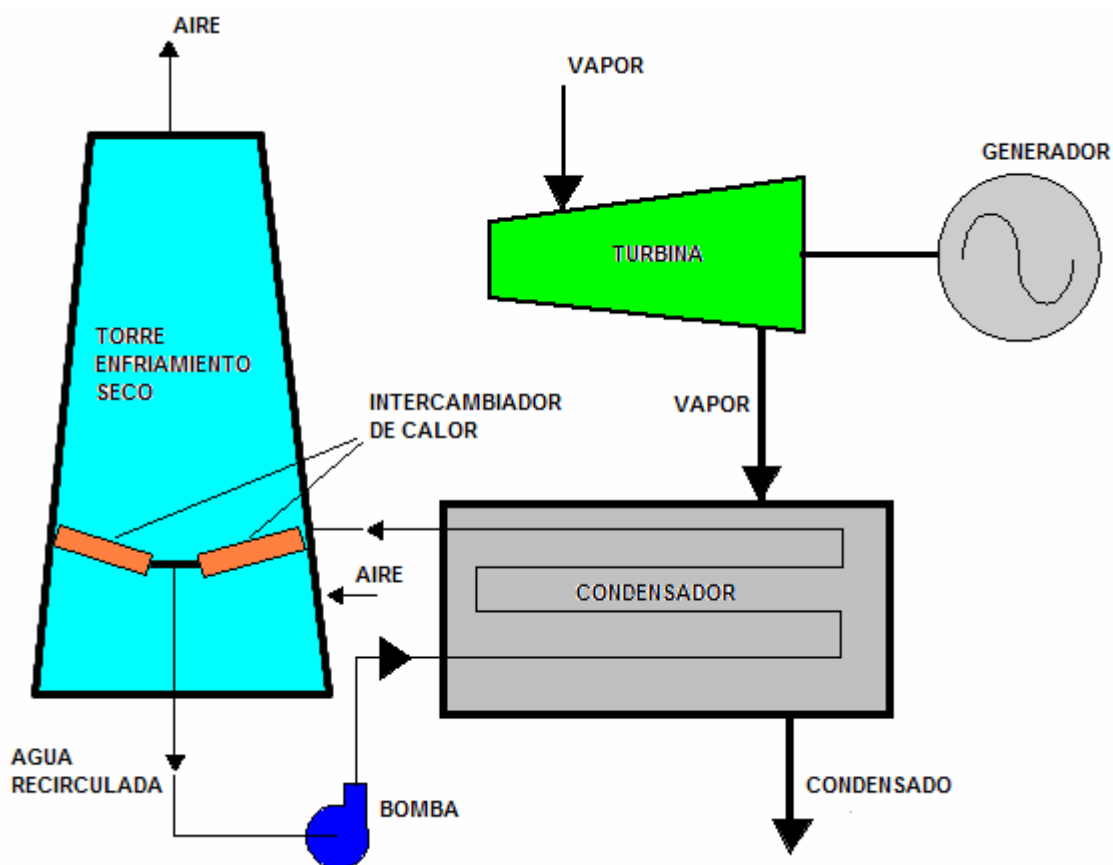


Figura 15. Sistema indirecto de enfriamiento seco

Los sistemas que incorporan un condensador barométrico son usados normalmente en conjunción con torres de enfriamiento seco de tiro natural. Conocidos como sistemas Heller fueron desarrollados por una firma húngara (EGI-Constructing Engineering Ltd.), y usadas en numerosas instalaciones a lo largo del mundo. Tienen un coste inicial y de operación bastante alto.

### 3.2.5 Sistemas híbridos húmedo/seco

Los sistemas híbridos emplean una combinación de las tecnologías de enfriamiento húmedo y seco. Los dos principales tipos de sistemas híbridos son los diseñados para la conservación de agua y disminución de la columna de aire caliente.

Los sistemas de conservación de agua están orientados para reducir, que no eliminar completamente, el uso de agua para disipar el calor evacuado de la planta. Una parte limitada de agua es usada durante los períodos más calurosos del año para mitigar las grandes pérdidas en el rendimiento del ciclo de vapor y en la eficiencia de la planta asociadas a la operación con sistemas totalmente secos. Estos sistemas pueden limitar el uso anual de agua de un 2 a un 5% de lo requerido para las plantas con sistemas cien por cien húmedos y aún lograr sustanciales ventajas de eficiencia y capacidad durante los períodos de pico de carga para tiempos calurosos, en comparación con los sistemas secos. Si tenemos suficiente agua disponible, podemos lograr el aumento de la capacidad y eficiencia de la planta.

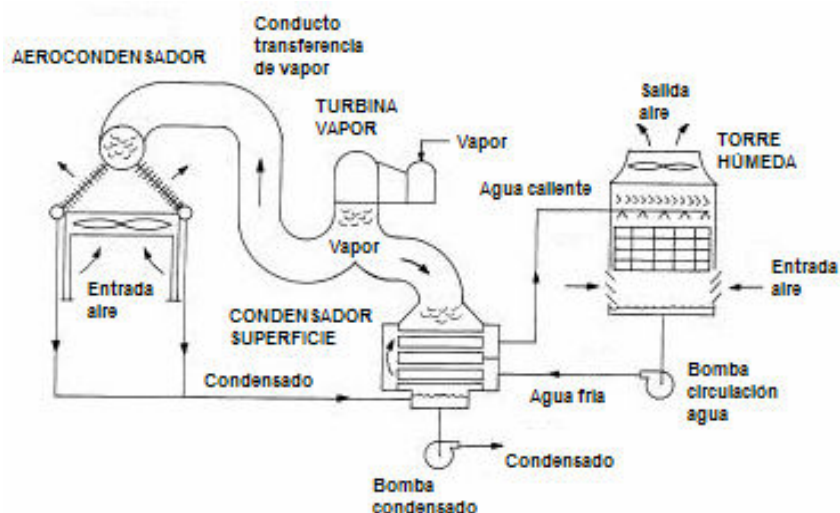


Figura 16. Sistema conservación agua

Por otro lado, las torres de disminución de columna de aire caliente son esencialmente sistemas cien por cien húmedos que desarrollan una pequeña parte de enfriamiento seco para secar, o deshumidificar, la columna de aire caliente de salida durante los períodos fríos, de humedad alta que es cuando las columnas llegan a ser realmente visibles.

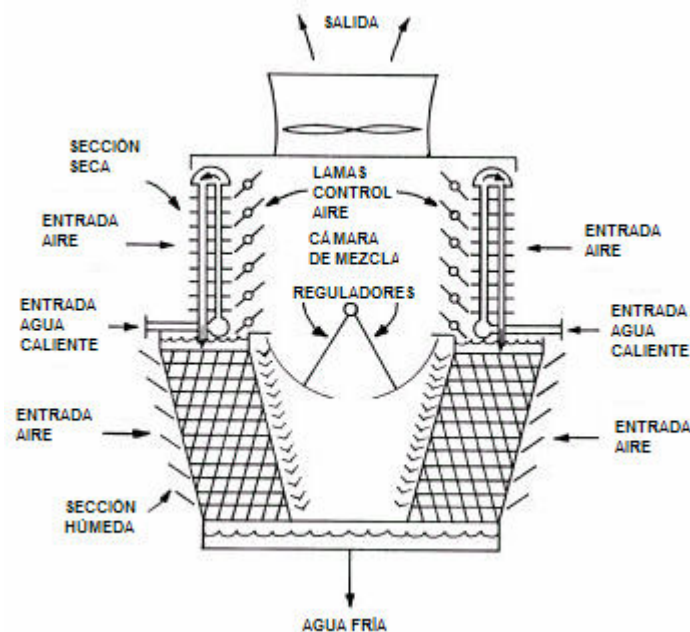


Figura 17 . Torres disminución columna de aire saliente

Un ejemplo de sistema híbrido de enfriamiento y que constituye una tecnología alternativa es el denominado condensador evaporativo. Este condensador, que ha sido ampliamente utilizado en procesos químicos y recientemente ha sido considerado para su aplicación en plantas de potencia, se denomina también aerocondensador de superficie húmeda.

A continuación realizaremos una breve descripción de la tecnología. El fluido de proceso, en este caso vapor condensado, fluye a través de tubos horizontales dispuestos en bancos. El flujo de aire es inducido hacia abajo cruzando el banco de tubos, gira 180° a través de los eliminadores de humedad y del ventilador y es descargado verticalmente hacia arriba. El agua es circulada desde el depósito colector y rociada en la parte superior del banco de tubos. Luego fluye hacia abajo en paralelo con el aire y regresa al depósito. El calor es transferido desde el vapor de condensación a través de las paredes de los tubos hasta la película de líquido descendente. Este calor es luego evacuado a la corriente de aire como calor latente y sensible, como es el caso de una torre de enfriamiento húmedo convencional.

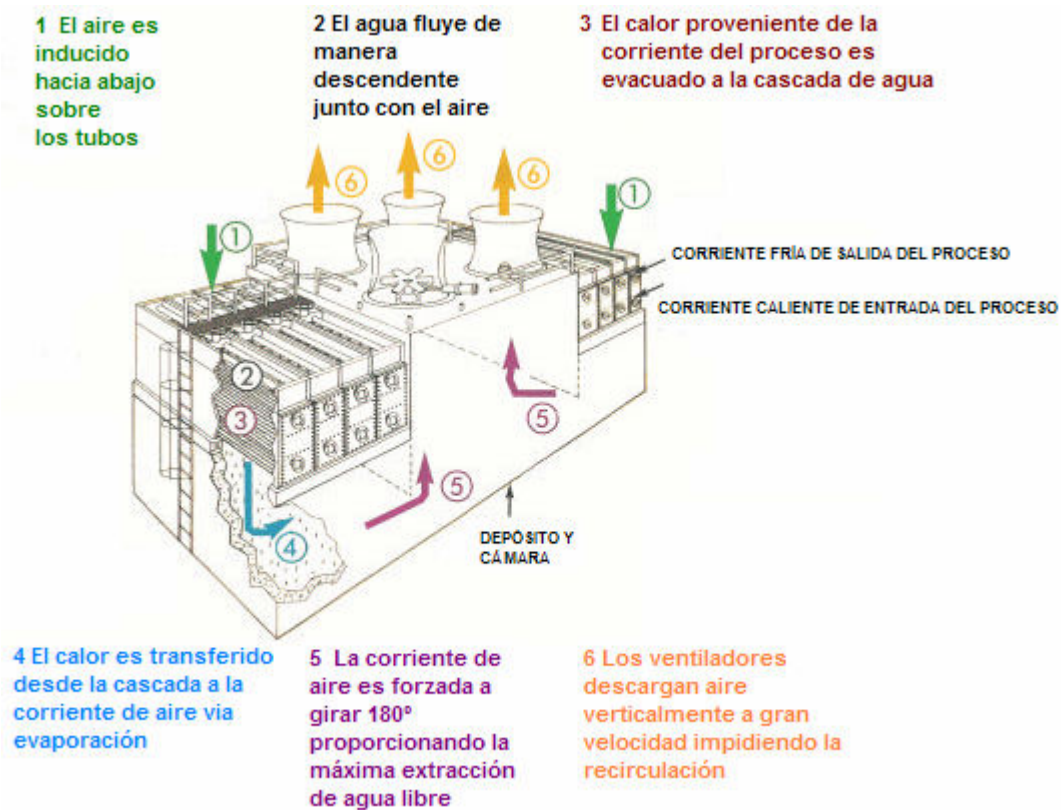


Figura 18 . Condensador evaporativo

El equipo es por lo general diseñado para operar en el modo cien por cien húmedo, donde el agua no sea un factor limitador de manera que se pueda obtener el mayor aprovechamiento de la evaporación del agua de recirculación obteniendo el máximo enfriamiento.

Si la conservación de agua se convierte en objetivo, la unidad puede ser diseñada para el consumo del 50% del consumo básico anual. El uso total de agua puede realizarse en las horas más calurosas, siendo posible reducir o eliminar el flujo de agua sobre algunos tubos del banco durante los períodos más fríos. La conservación por debajo del 50% del consumo no es fiable para esta tecnología una vez que los tubos no son tubos de aletas y el rendimiento de una bandeja seca es limitado. Por lo tanto, su aplicación en el modo seco requeriría una gran unidad inviable económicamente.

### 3.2.6 Sistemas de enfriamiento: Ventajas e inconvenientes

En este apartado vamos a enumerar las ventajas e inconvenientes más significativos que presentan los principales sistemas de enfriamiento.

#### *Sistema de enfriamiento de ciclo abierto*

- Ventajas:
  - Eficiencia más alta.
  - Costes de instalación y operación más bajos.
  - Bajo consumo de agua.
  
- Inconvenientes:
  - Tasas de extracción más altas (caudal volumétrico por MWe).
  - Arrastre de fluidos que acompañan a las corrientes de vapor, con posibilidad de corrosión y erosión
  - Columna térmica de descarga

#### *Sistema de enfriamiento húmedo de ciclo cerrado*

- Ventajas:
  - Reducidos porcentajes de extracción
  - Reducido arrastre de fluidos
  
- Inconvenientes:
  - Disminución eficiencia de la planta.
  - Costes capitales más altos.
  - Mayor consumo de agua y evaporación.
  - Columna de aire caliente y húmedo visible.
  - Necesidad de tratamiento del agua de desecho.
  - Programas de tratamiento químico.
  - Control de agentes contaminantes y patógenos en el aire.
  - Espacio.

*Sistema de enfriamiento seco*

- Ventajas:
  - Consumos de agua más bajos.
  - Sin pérdidas debidas al arrastre de gotas
  
- Inconvenientes:
  - Costes de instalación y operación más altos.
  - Penalizaciones de la eficiencia de la planta más altas.
  - Aumento emisiones de aire/MCU.
  - Limitaciones de carga en los días más calurosos.
  - Espacio.
  - Posibilidad de incremento de desconexiones.

**3.2.7 Análisis comparativo de los sistemas de enfriamiento**

Vamos a llevar a cabo en este párrafo del capítulo un análisis comparativo entre las distintas tecnologías de enfriamiento, principalmente entre los sistemas húmedos y los secos. En el caso de los sistemas de ciclo abierto, objeto de nuestro estudio, haremos un análisis más concreto en capítulos posteriores.

Los puntos que examinaremos en esta sección, que ya han sido descritos en mayor o menor medida en los apartados anteriores, van encaminados al estudio del consumo de agua, el rendimiento de la planta, análisis de costes e impactos medioambientales, principalmente.

*Consumo de agua*

El enfriamiento seco reduce la cantidad de agua usada en una planta térmica eliminando el consumo de agua a través de la evaporación en una torre de refrigeración húmeda. Para entender la importancia de la reducción es necesario distinguir entre el consumo de agua en el sistema de enfriamiento y

---

el consumo total de agua de la planta, que incluye numerosos usos sin reparar en el sistema de refrigeración empleado.

En plantas equipadas con sistemas de enfriamiento húmedo con recirculación (torres húmedas) para la condensación del vapor, la evaporación de agua en las torres de enfriamiento es el más importante y cuantioso uso de agua. Esta evaporación es el principal elemento diferenciador en cuanto al consumo de agua entre la tecnología húmeda y seca.

### *Rendimiento de la planta*

Esencialmente en todas las situaciones, el uso del agua en el ámbito del enfriamiento es el modo más barato para proveer de refrigeración a las plantas térmicas. Además, el enfriamiento húmedo siempre nos proporciona la mayor potencia anual de la planta y la mayor eficiencia en el comportamiento de ésta durante la mayor parte del año. Las cuestiones más relevantes serían cuánto más cara y cómo de grande es el efecto en la eficiencia y en la producción de la planta.

La cuestión del rendimiento o comportamiento descansa sobre los siguientes tres aspectos:

#### *A) Requerimientos de potencia de operación*

La energía requerida para que operen los ventiladores y bombas de los sistemas de enfriamiento es energía que debe ser generada pero que no puede ser exportada ni vendida por la planta. El coste de esta potencia reducida influye en la vida de la planta. Normalmente está expresada como el valor presente de un kilovatio que podría producir energía en un precio por MWh previsto para la vida de la planta. Este valor puede ser compensado por el coste capital del sistema de enfriamiento, el cual puede ser reducido normalmente con el gasto de mayores cantidades de potencia del ventilador y las bombas.

Para los sistemas húmedos en este análisis, el valor presente de la potencia sería aproximadamente igual al coste capital del sistema de enfriamiento para un sistema optimizado y aproximadamente un 160% del coste capital para un sistema de “bajo coste inicial”.

Para los sistemas secos, la potencia de operación para una carga de calor dada es mucho mayor (con un factor de 4 a 6), que la necesaria para un sistema húmedo optimizado.

### *B) Penalizaciones en la eficiencia*

La capacidad de un sistema de enfriamiento, húmedo o seco, para disipar calor en el ambiente está influenciada por las condiciones ambientales, la temperatura de bulbo húmedo para las torres de refrigeración y la temperatura de bulbo seco para los sistemas secos. Cuando estas temperaturas aumentan, la presión a la salida de la turbina aumenta, llevando consigo una reducción de la eficiencia de la turbina. La potencia de la planta puede ser mantenida en algunas ocasiones aumentando el flujo de vapor hacia la turbina si el sistema de suministro de vapor tiene capacidad adicional. Si no, en el caso de sistemas fijos la producción de la planta descenderá.

### *C) Penalizaciones en la capacidad*

Si las temperaturas ambiente crecen hasta valores suficientemente grandes, la presión de salida alcanzable puede exceder del máximo permitido por la turbina. En este caso, el flujo de vapor debe ser reducido para proteger a la turbina, y la producción de la planta se limitaría en ese nivel.



### *Costes*

El rendimiento y los costes son dos conceptos estrechamente ligados. La elección inicial de un sistema de enfriamiento más grande, de mayor capacidad, y por ende, más caro llevará consigo una mayor capacidad y mayor eficiencia de operación a lo largo de la vida de la planta.

En general una adecuada comparación de costos entre los diferentes sistemas de enfriamiento debe ser hecha entre las elecciones optimizadas de las tecnologías para un determinado lugar en concreto. Un sistema optimizado vendría definido como aquel que minimiza la suma de todos los costes (costes capitales iniciales, coste energético de operación, costes de penalización en la eficiencia, costes en la penalización de la capacidad) inmersos en la vida de la planta. El valor de estos costes depende de numerosas variables. Algunas de las más importantes incluyen las características de operación de los componentes de generación de la planta, la meteorología en el lugar de implantación, el precio presente y futuro de la energía y los perfiles de demanda futura para la planta. La selección del diseño óptimo o preferente también depende de la relativa importancia que se le de a los costes presentes frente a los futuros, los cuáles dependen fuertemente de los objetivos económicos y los planes de negocio que tengan los propietarios de la planta. Por consiguiente, el “sistema óptimo” debe oscilar entre un sistema con el menor coste inicial y uno con el menor coste total de tiempo de vida proyectado para una vida de 30 años o más.

#### *A) Sistemas húmedos*

En el caso de los sistemas húmedos, el sistema optimizado está definido por un equilibrio entre los costes capitales y los costes energéticos de operación. Los costes de tasa de calor y penalización en la capacidad que aparecen debido a las limitaciones en el sistema de enfriamiento en los días húmedos y calurosos no influyen en demasía en la determinación del óptimo.

*B) Sistemas secos*

Para el caso de los sistemas secos, el óptimo es determinado a través del equilibrio entre los costes totales evaluados del sistema de enfriamiento (incluyendo tanto los costes capitales como los de operación) y la tasa de calor y la penalización de capacidad que aparecen debido a las limitaciones del sistema en los días más calurosos del año.

Los costes relativos del enfriamiento seco frente al húmedo son difícilmente generalizables y dependen de muchas consideraciones respecto al lugar de implantación. Aunque hoy en día han aparecido otras nuevas consideraciones favorables al enfriamiento seco como pueden ser, las severas limitaciones en el uso de agua o aspectos ambientales más restrictivos.

*Efectos ambientales*

La comparación de los impactos ambientales asociados a las distintas tecnologías de enfriamiento abarca el examen de un número notable de áreas, que pasamos a enumerar,

- Gestión de residuos y desechos, incluida el agua de descarga.
- Materiales peligrosos.
- Emisiones de aire.
- Ruido.
- Recursos visuales.
- Salud pública.
- Recursos biológicos.
- Agricultura y tierras.

En la mayoría de estas áreas, los efectos son proporcionales al uso del agua y sus asociadas evaporación, purga y producción de aire húmedo. Las

áreas incluidas para este caso son la gestión de residuos, la descarga de agua, los materiales peligrosos, la salud pública y la agricultura y tierras. En estos casos, el uso de enfriamiento seco elimina los efectos completamente, y los sistemas híbridos los reducen en proporción a la reducción del uso de agua, el cual es una función del perfil de operación de los sistemas de enfriamiento. El resto de áreas las discutimos a continuación.

### *A) Emisiones del aire*

Los sistemas secos eliminan los efectos asociados con las partículas en suspensión y los componentes volátiles despojados del agua en las torres húmedas. Los sistemas híbridos lo hacen también en proporción al uso de agua.

### *B) Ruido*

El ruido en sistemas húmedos proviene tanto del agua cayendo desde el relleno en la torre como del funcionamiento de los ventiladores y el movimiento del aire. En el caso de los sistemas secos, el ruido del agua es obviamente eliminado, aunque el ruido del aire y los ventiladores puede ser incrementado si la cantidad de aire movido a través del sistema es mayor.

La importancia de este efecto es específica del lugar de implantación, ya que pueden existir lugares donde la disminución del ruido es necesaria, requiriendo para ello el uso de ventiladores de bajo ruido. Éstos repercuten en el aumento del coste en un 10%. Similares disminuciones de ruido son necesarias en las torres en algunos casos.

### *C) Recursos visuales*

Los sistemas secos e híbridos eliminan efectivamente el hecho de columnas de aire caliente visibles. Sin embargo, ello requiere estructuras

físicamente más altas y grandes que las torres de enfriamiento y pueden ser un elemento más significativo en la zona de la planta. El lugar de implantación es también un aspecto importante.

*D) Impactos biológicos*

Los sistemas híbridos y secos reducen este impacto en proporción a la reducción del uso total de agua de la planta, estimada aproximadamente en un 70%.

Un efecto postulado del enfriamiento seco es el llamado “arrastre atmosférico”, donde los insectos y algunos pájaros pequeños pueden ser introducidos con la corriente de aire de entrada.