

# GUIA DE FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE TORRES DE REFRIGERACION



## GUIA DE TORRES DE REFRIGERACION

*Todas las plantas industriales, las instalaciones de clima, refrigeración o de producción de energía, se caracterizan por emisiones de calor más o menos importantes en términos cuantitativos. Este **calor «residual»** tiene, salvo en algunos casos, un bajo contenido energético que no hace posible o conveniente su recuperación. Por lo tanto, debe ser disipado externamente de alguna manera.*

*En este artículo nos ocuparemos de las torres de refrigeración evaporativa. Una **torre de refrigeración** es, hoy en día, la tecnología de enfriamiento más eficiente del mercado para disipar grandes cantidades de calor. Por este motivo, las torres de refrigeración son los equipos de enfriamiento más utilizados en la industria.*

## Torres de refrigeración: funcionamiento y mantenimiento

Te damos respuesta:

- ¿Qué son las torres de refrigeración, para qué sirven y cómo funcionan?
- ¿Dónde y por qué se usan? ¿Por qué son necesarias?
- ¿Cuál es la definición de 'torre de refrigeración' o 'torre de enfriamiento'?
- ¿Qué significa 'evaporativo'?

### Torres de refrigeración: qué son y dónde son útiles

Las **torres de refrigeración o torres de enfriamiento** son dispositivos que aprovechan de manera óptima un principio natural tan simple como eficaz. Hablamos de la evaporación forzada de un pequeño porcentaje del volumen de agua. Este agua, al realizar el cambio de estado a vapor, extrae energía del caudal de agua no evaporado (calor latente de evaporación).

El proceso mediante el cual se produce la refrigeración por evaporación es tan simple como antiguo. Las antiguas ánforas de terracota, material poroso, permitían que el agua exudara hacia el exterior en cantidades mínimas. De esta manera, se llevaba a cabo un **proceso de evaporación** y el agua del interior se mantenía fresca incluso a altas temperaturas ambientales.

### Las torres de refrigeración utilizan el calor latente de la evaporación

Las torres de refrigeración pueden realizar aún de mejor manera el **proceso de intercambio de calor agua/aire**. En ellas el fenómeno de **evaporación** se produce mediante el uso de componentes sencillos y eficaces. En general necesitan un [mantenimiento mínimo](#).

Para comprender mejor cómo se produce la disipación de calor, es necesario conocer dos conceptos:



- **Calor sensible.** La cantidad de energía calórica que se añade o se sustrae de un elemento físico (como una batería con aletas) para modificar su temperatura.
- **Calor latente.** Se basa básicamente en el cambio de estado que puede sufrir una sustancia como resultado de la incorporación o la pérdida de calor. En el caso del agua, puede pasar de una fase líquida a una fase sólida (hielo), si se le quita el calor cuando alcanza el punto de congelación. También puede cambiar de fase líquida a gaseosa (vapor) si se incorpora calor cuando alcanza el punto de ebullición. El calor latente se define entonces como **el calor que se introduce o se elimina para cambiar el estado del agua.** En particular, en los sistemas de refrigeración por evaporación se define el **calor latente de la evaporación.**

Una torre de refrigeración debe ofrecer al agua la mayor superficie de contacto con el aire posible, de modo que el **intercambio de calor sea óptimo.**

Esto se logra mediante una superficie de intercambio de calor, diseñado especialmente para este fin. Esta superficie de intercambio, el relleno, se debe seleccionar en función de la calidad del agua a refrigerar, de los posibles líquidos en suspensión, de su eficacia y de la facilidad para un posterior mantenimiento.

## La temperatura de bulbo húmedo

La temperatura de bulbo húmedo se define como la temperatura que mediríamos si el aire estuviese con una humedad relativa del 100%. Si el bulbo de un termómetro lo humedecemos con agua, la evaporación de esta agua hace que la temperatura del termómetro baje.



Cuanto menor sea la humedad relativa más baja será la temperatura de bulbo húmedo respecto a la temperatura ambiente. La temperatura de bulbo húmedo proporciona una referencia precisa de la **temperatura de salida teóricamente alcanzable** por la torre de refrigeración.

Aprovechando este concepto, las torres de refrigeración pueden enfriar líquidos muy por debajo de la temperatura ambiente.

## La eficiencia energética de torres de refrigeración

Dada su simplicidad constructiva, combinada con la gran eficiencia en términos de relación coste por kW disipado, las torres de refrigeración siguen siendo hoy en día **el dispositivo de refrigeración más utilizado tanto en el ámbito civil como sobre todo en el industrial.**

Esto se debe a que no existe ninguna pieza móvil en particular, excepto un ventilador que puede instalarse tanto en aspiración como en impulsión. Por otra parte, el consumo de electricidad es realmente reducido en comparación con otros sistemas de enfriamiento.

Especialmente en presencia de grandes cantidades de calor a disipar (por ejemplo, acerías, plantas químicas, centrales eléctricas), las torres de refrigeración no tienen rival en cuanto a la **energía eléctrica** utilizada y el limitado espacio requerido para su instalación. Al mismo tiempo las **temperaturas alcanzables**, en términos de agua refrigerada, se sitúan muy **por debajo de la temperatura ambiente**. Por lo contrario, los sistemas no evaporativos están muy sujetos a este límite de temperatura debido a que los sistemas evaporativos funcionan utilizando el intercambio de evaporación latente (el límite mínimo que puede alcanzar el agua es la temperatura de bulbo húmedo).

## Comparación de las tecnologías de refrigeración: refrigeradores secos, adiabáticos, evaporativos, y chillers.

Cuando se necesita seleccionar un sistema de refrigeración industrial o civil, la elección debe hacerse teniendo en cuenta algunos puntos fundamentales que garanticen el sistema más adecuado. En particular, deben tenerse en cuenta tanto las **temperaturas de funcionamiento requeridas** como las relacionadas con las **condiciones ambientales** del lugar de instalación.





**Los sistemas de evaporación en seco, o dry coolers,** se basan en el intercambio sensible. El límite en este caso está fijado por la temperatura del fluido de refrigeración, es decir, el aire ambiente. Este tipo de enfriamiento puede alcanzar unas temperaturas mínimas de unos 5 °C por encima de la temperatura ambiente.

Los sistemas adiabáticos combinan la refrigeración por aire con una pequeña evaporación de agua que les permite alcanzar temperaturas de enfriamiento similares a la temperatura ambiente.

Si necesitamos bajar de esa temperatura o necesitamos enfriar grandes caudales de agua, la solución óptima sería trabajar con una torre de refrigeración. Con la torre de refrigeración podemos enfriar aproximadamente 3 °C por encima de la temperatura de bulbo húmedo. Si recordamos el apartado anterior, esta temperatura de bulbo húmedo está, en la mayoría de los casos, muy por debajo de la temperatura ambiente con lo que conseguiremos temperaturas mucho más bajas que con un dry cooler o un adiabático.

En caso de necesitar temperaturas extremadamente bajas la opción será un chiller o enfriadora. La desventaja de estos equipos es el alto consumo eléctrico de los mismos pero son la única opción para determinados casos.

Todo esto nos ayuda a aclarar que no existe un sistema de refrigeración «bueno para todas las estaciones». Hacer una elección apropiada, se basa en los requisitos de diseño y las condiciones ambientales. Esto significa **optimizar** el consumo de energía, **reducir el espacio** con los sistemas en condiciones de funcionar al máximo.

## Torres de refrigeración: tamaño y componentes

Hemos descubierto qué son las torres de refrigeración y cuál es el principio físico que utilizan para mantener un alto rendimiento.

Ahora veremos cómo se construyen y sobre todo, según qué criterios se dimensionan.

Cómo dimensionar una torre: la importancia de la temperatura del bulbo húmedo

El **dimensionamiento de las torres de evaporación** se hace teniendo en cuenta algunos parámetros fundamentales.

- energía térmica para disipar,
- temperatura del agua que entra en la torre,
- temperatura que se quiere alcanzar en la salida
- condiciones termo-higrométricas (es decir, temperatura y humedad) características del área de instalación.

Esta última información en particular representa un dato decisivo para un correcto dimensionamiento. De hecho, permite identificar con precisión el parámetro de la **temperatura de bulbo húmedo**. Esta define las «peores» condiciones ambientales de la zona de instalación y el límite al que tiende a llegar el agua enfriada por la torre de refrigeración.

En estas condiciones límite, deben garantizarse las temperaturas de diseño necesarias para la disipación de la carga térmica suministrada por el sistema. La temperatura de referencia del bulbo húmedo es en promedio



unos 10°C menos que la temperatura ambiente. **La aproximación** es la diferencia entre la temperatura del bulbo húmedo y la temperatura del agua enfriada. Cuanto menor sea **la aproximación** necesaria para el agua de salida y mayor será la torre de refrigeración necesaria para realizarlo.

Normalmente, una aproximación entre 2-3°C y 5-6°C cumple plenamente con la mayoría de los requisitos de las plantas modernas.



## Componentes de la torre de refrigeración y materiales utilizados

**Principales componentes** de una torre de refrigeración:

- Estructura principal de **contención y soporte** de la torre de refrigeración: puede ser de chapa o de fibra de vidrio o ambas. En el caso de torres de refrigeración industriales muy grandes, o de tipo hiperbólico, también se utiliza el cemento.
- **Relleno** o **paquete de intercambio de calor** (en torres de circuito abierto) o **serpentín de intercambio de calor**, generalmente con tubos lisos (en torres de refrigeración de circuito cerrado). Constituyen el «corazón» de la torre de

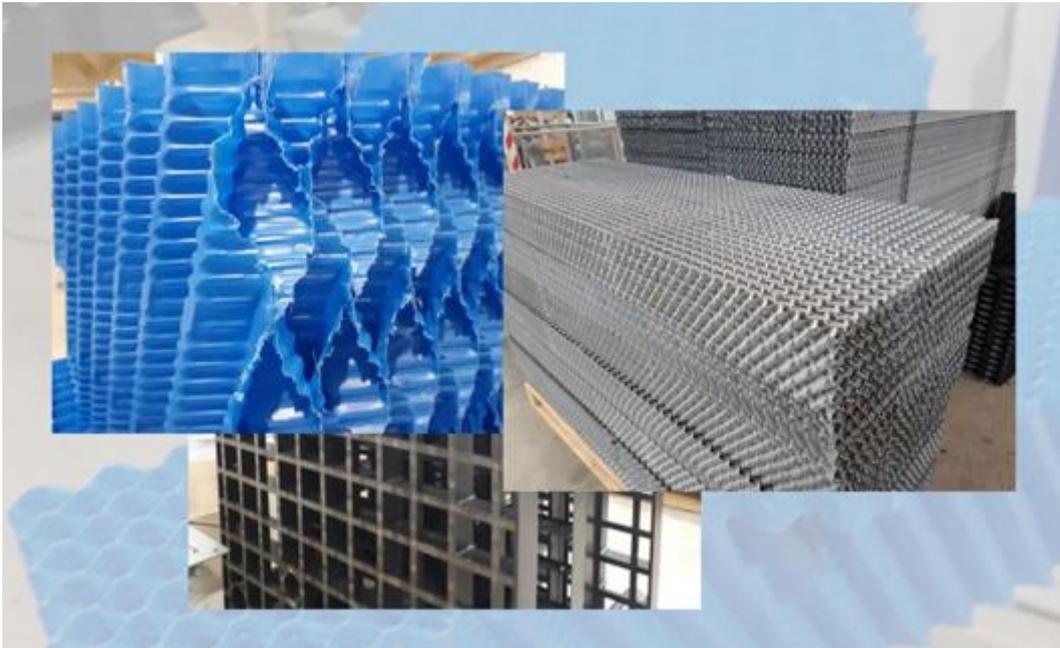
enfriamiento. De hecho, son los componentes a través de los que se realiza el intercambio de calor entre el agua y el aire.

- **Ventilador axial o centrífugo:** es el único dispositivo mecánico en movimiento. Este, «fuerza» la evaporación del agua necesaria para realizar el enfriamiento. La elección del tipo axial o centrífugo, dependiendo de las condiciones de diseño, es importante para obtener el mejor funcionamiento y el menor consumo del sistema.
- **Sistema de distribución de agua,** normalmente fabricado con una serie de tubos y boquillas. Permite distribuir el agua a enfriar en el **relleno** (torres de refrigeración abiertas) o, sobre el serpentín de intercambio (torres cerradas).
- El **separador de gotas,** situado inmediatamente aguas arriba del ventilador. Tiene la función de retener las gotas de agua, que de otra manera son arrastradas hacia afuera por el flujo de aire del ventilador.

## La calidad del agua de refrigeración

Además, la naturaleza del agua que se va a enfriar influye en gran medida. Definirá la elección de los **materiales** de construcción que se van a utilizar. Como se ha mencionado anteriormente también será un factor que defina el relleno más adecuado. En presencia de agua particularmente **agresiva o ácida**, se deben preferir los materiales **inoxidables o la fibra de vidrio**. Esta última es intrínsecamente insensible a la mayoría de los agentes químicos.





Si, por el contrario, el agua puede ser contaminada por el proceso, arrastrando con ella suciedad u otros contaminantes de diversa índole, incluidos los orgánicos, será necesario evaluar el tipo de relleno. Entre los distintos tipos disponibles, encontramos los antiincrustantes, canales verticales no cruzados y los clásicos packs «splash» basados en el principio de arrastre de gotas entre otros.

## Purgas y aporte en torres de enfriamiento

Como hemos mencionado, las torres de refrigeración logran su propósito de enfriar el agua por la evaporación forzada de una cierta cantidad de agua. La cantidad de agua evaporada es directamente proporcional a **la cantidad de calor que debe disiparse**. En particular, se pierde alrededor de 1 litro de agua cada 600 Kcal de carga térmica eliminada.

El agua evaporada para obtener el enfriamiento debe **reincorporarse al circuito**. Es conveniente llevar a cabo la operación mediante el acondicionamiento de la calidad del agua. De esta forma no se producirán infiltraciones y depósitos en el propio circuito. Esto se debe a que las sales contenidas en el agua de evaporación permanecen disueltas en el agua restante que va aumentando en concentración. En resumen, se hace esencial mantener bajo control, que no se superen ciertos límites. Normalmente, un **tratamiento antical** adecuado y **una purga parcial** del

agua contenida en el circuito y un **tratamiento biocida** son más que suficientes para este fin.

El agua evaporada es una consecuencia del calor disipado, y por lo tanto no puede ser modificada en términos cuantitativos. El agua que se define como «purgada» puede modificarse y que tiene la función de mantener la cantidad de sales disueltas dentro de ciertos límites.



## La purga

La purga se puede gestionar de manera «empírica» tendiendo a ser algo superior a la evaporación. También puede ser controlado por la vigilancia constante de la calidad del agua contenida en el circuito, en particular el parámetro de conductividad eléctrica.

El control de la conductividad mediante tratamientos antical especiales, y la posterior gestión de las purgas de manera adecuada, permite reducir considerablemente el desperdicio de agua. Además permite mantener el sistema en perfecta eficacia y ampliar en el tiempo las intervenciones de mantenimiento y la sustitución de los componentes sujetos a desgaste.

Por lo tanto, la solución ideal puede ser optar por soluciones «integradas» para la planta. Estas soluciones incluyen, además de la torre de refrigeración, los equipos dedicados al control y la gestión del agua. Mejor aún si se propone directamente el fabricante. De esta manera pueden ser adecuados en cuanto al fluido y diseñados específicamente para la torre de refrigeración vinculada a la explotación.

## Torres de refrigeración: principales aplicaciones industriales y civiles

Como se indicó al principio, las torres de refrigeración se utilizan ampliamente en los sistemas de evaporación:

- refrigeración industrial
- refrigeración comercial
- HVAC
- procesos industriales

Esta última área representa ciertamente una de las aplicaciones más importantes de las torres de refrigeración.



## Torres de refrigeración: la solución óptima para las grandes potencias

Todos los demás **sistemas de refrigeración** ya sean de ventilación, adiabáticos o frigoríficos, representan una posible alternativa cuando la potencia térmica a disipar es relativamente modesta. Sin embargo, se vuelven extremadamente antieconómicos cuando se trata de **potencias muy altas**, incluso varios MW.

En el sector industrial se utilizan tanto torres de refrigeración de **circuito abierto como de circuito cerrado**. En estas últimas, el fluido a enfriar, que siempre puede ser agua o una mezcla de agua y glicol, circula dentro de un serpentín de tubos lisos que se humedece externamente con agua que evaporarse sustrae calor al fluido interno.

## Torres de refrigeración combinadas con intercambiadores de calor

Las torres evaporativas de circuito cerrado son una alternativa válida en caso de que se quiera enfriar «indirectamente» al consumidor. Es decir, se prefiere que el líquido del circuito de refrigeración no esté contaminado por el aire.

El mismo tipo de enfriamiento indirecto puede lograrse con una torre evaporativa de circuito abierto combinada con un **intercambiador de calor de placas**.

## Torres de refrigeración combinadas con condensadores refrigerados por agua

Las torres de enfriamiento también se utilizan en la refrigeración civil, pero, sobre todo, industrial y comercial. En particular, las encontramos **en combinación con el condensador de las unidades de refrigeración enfriadas por agua** y hoy más que nunca en las unidades de absorción.

## Ejemplos de áreas de aplicación

A modo de ejemplo, mostramos una relación de ámbitos de aplicación industrial o civil en los que las torres de refrigeración cumplen su función de eliminación del calor de los procesos.

- Centrales nucleares, térmicas, geotérmicas y de carbón
- Plantas de petróleo y gas
- Biomasa
- Producción de neumáticos
- Producción de papel
- Cogeneración y Trigeneración
- Sistemas de aire acondicionado en edificios civiles e industriales (área HVAC)
- Supermercados en combinación con enfriadores.
- Pequeñas plantas de producción como las heladerías.



## Tipos de torres de refrigeración

La elección de los diferentes tipos y variantes de construcción de las torres de refrigeración se realiza durante la fase de diseño. La selección se hace en función de la aplicación a la que se destinan, o por el tamaño del sistema.

Las variables más frecuentes que pueden guiar la elección son, a grandes rasgos, las siguientes:

- la energía térmica a disipar
- la naturaleza del agua a enfriar
- tipo de proceso
- contexto en el que tiene lugar la instalación (civil o industrial),
- requisitos especiales de instalación, por ejemplo, si se trata de una instalación nueva o de un reemplazo.

## Torres de refrigeración ensambladas en fábrica y montadas en campo

El tamaño del sistema en términos de potencia térmica a disipar dirige la elección hacia **torres de refrigeración de tipo modular (FAP)** preensambladas en fábrica, o hacia **torres de refrigeración montadas en el campo o FEP** (ensambladas directamente en el sitio).



Las torres de refrigeración de tipo modular pueden fabricarse tanto en metal como en otros materiales menos «sensibles» a la presencia de agua y su posible efecto de corrosión como es la **fibra de vidrio**. Las torres de refrigeración montadas en campo se construyen a partir de una estructura

metálica o con perfiles pultruidos de fibra de vidrio o incluso de **hormigón** (clásicas torres hiperbólicas de las centrales nucleares).

## Soluciones estándar o silenciosas

Otro elemento que influye en la elección de la solución constructiva más adecuada es la zona de instalación. En un contexto **civil** (hospitales, centros comerciales, sistemas de aire acondicionado) se debe preferir una solución de **bajo impacto acústico**. En este caso se preferirá un equipo de refrigeración diseñado con bajas emisiones de ruido o fácilmente silenciable.

Si se trata de una zona **industrial**, los límites de ruido, aunque se presentan como una solicitud de diseño, son ciertamente menos vinculantes.

## ¿Ventiladores centrífugos o axiales?

Para responder a esa pregunta, demos un paso atrás en el tiempo.



En los últimos años, ha habido una tendencia a dirigir la elección en el sector civil hacia torres de refrigeración con **ventiladores centrífugos**. En cambio, se preferían las versiones con **ventiladores axiales** para procesos industriales.

Hoy en día existen torres de refrigeración con ventiladores axiales igualmente eficientes y **silenciosos**.

## Para cada instalación su solución: la recopilación de información

Por último, también es necesario conocer los límites dimensionales u otras situaciones preestablecidas que pueden definir una elección.

Por ejemplo, en el caso de una sustitución, puede haber un tanque existente o un espacio definido por la instalación anterior al que es necesario adaptarse.

Los distintos aspectos deben ser tratados durante la **fase de recopilación de datos** entre el cliente y el proveedor. Es tarea de este último asumir una función «asesora» hacia el cliente para que la propuesta sea la mejor desde el punto de vista técnico y económico.

## Mantenimiento y tratamiento del agua de refrigeración

Como todos los dispositivos incluidos en un sistema tecnológico, las torres de refrigeración requieren un programa de **mantenimiento rutinario** y, en caso de fallo, extraordinario.

Debido a su extrema sencillez de construcción, las torres de enfriamiento no requieren por lo general una atención especial, sino la observación de algunas **directrices muy simples** pero eficaces para mantenerlas siempre al máximo rendimiento. La **seguridad y la eficiencia** van de la mano.

### El tratamiento de agua en la torre de refrigeración

Los aspectos más delicados pueden ciertamente remontarse a la naturaleza del agua en circulación. Es decir, no sólo la atención al tipo de agua a enfriar, sino cómo esta agua es **controlada y acondicionada** para que no se deteriore desde el punto de vista físico-químico.



El agua bien tratada evita los depósitos e incrustaciones en la torre de refrigeración que en general se encuentra en la planta. También tiene una gran influencia positiva en la reducción al mínimo de la posible de

proliferación y propagación de sustancias orgánicas (algas) o bacterias, incluida la más extendida y potencialmente peligrosa que puede causar legionelosis.

Una torre de refrigeración **limpia** significa **eficacia**, por lo tanto, capaz de ofrecer el máximo rendimiento con el mínimo consumo: tanto en términos de electricidad como de agua evaporada y purificada.

## Buenas prácticas del fabricante de torres de refrigeración

Los **componentes** que conforman las torres de enfriamiento también se benefician de una gestión correcta. Los intercambiadores de calor tienen una mayor vida útil, los motores y los ventiladores funcionan en mejores condiciones debido a que un agua corrosiva podría deteriorar las partes más sensibles.

En lo que respecta a las prácticas que deben seguirse para obtener esta condición, en general basta con seguir las **instrucciones específicas proporcionadas por el fabricante**. Deben respetarse, en relación con los controles y el mantenimiento periódicos, así como los parámetros químico-físicos para el agua en circulación. Sin embargo, hay directrices más generales, a menudo también mencionadas en los manuales de los fabricantes, que proporcionan «buenas prácticas» válidas para todos los sistemas en los que se utilizan torres de refrigeración. Organismos prestigiosos en este sentido son **Eurovent, Cooling Technology Institute o AEFYT**.

