



El crecimiento de la población en los EEUU ha provocado (desde 1980) un aumento del 33% en la demanda para el suministro de agua para uso público.

Reduciendo el Consumo de Agua en los Sistemas de Aire Comprimido

Autor: Nitin G. Shanbhag, Gerente Ejecutivo General, Grupo de Tecnología del Aire, Hitachi América.

A los sistemas de aire comprimido se les suele llamar la “4ª Forma de Energía” ya que están presentes en casi todos los procesos industriales y sus edificios. El objetivo de este libro blanco es el enfoque en la oportunidad de reducir el consumo de agua de los sistemas de aire comprimido. El consumo de agua en los Estados Unidos de América se ha mantenido estacionario gracias a las reducciones del consumo en las empresas hidroeléctricas, en el riego para agricultura y en el segmento industrial y han podido compensar el aumento del consumo propio del crecimiento de la población. Los ejecutivos manejando los costes de energía en sus empresas deberían entender cuánta agua se necesita para el inventario de compresores en sus fábricas así como los costes relacionados con el consumo de agua. Se puede hacer

una evaluación de los diferentes tipos de sistemas de enfriamiento para averiguar los costes del agua y establecer estrategias.

Sección I: Contrarrestando el Aumento del Suministro de Agua para Uso Público en los Estados Unidos de América

El uso total de agua en los EEUU en el año 2005 se ha estimado en 410 billones de galones al día gracias a un estudio conducido en el 2009 por el *U.S. Geological Survey*¹ (Prospección Geológica de los EEUU). Este estudio, “El Consumo Estimado de Agua en los EEUU” se está realizando cada cinco años desde 1950. Los datos para el consumo de agua del año 2010 estarán disponibles en el año 2014.

El informe indica que el consumo de agua a nivel nacional se está manteniendo aproximadamente al mismo nivel que en el año 2000 incluso ha disminuido el 5% desde el punto más alto de demanda en 1980. Esta nivelación de la demanda ha ocurrido a pesar de un crecimiento de la población del 31% entre los años 1980 y 2005 (de 230 a 301 millones de personas)². Este crecimiento de la población ha provocado el incremento de hasta el 33% en el suministro necesario de agua para el uso público. Afortunadamente, el consumo de agua para usos como la generación de energía termoeléctrica, riego, ganadería y autoabastecimiento industrial, se han estabilizado o disminuido desde el año 1980.

El Consumo de Agua para la Generación de Energía y para el Regadío Se Están Estabilizando.

La energía termoeléctrica ha sido la categoría con mayor disminución del consumo de agua desde el año 1965, y en el año 2005 ha significado el 49 por ciento del descenso del consumo total³. El descenso del consumo de agua para la generación de energía termoeléctrica alcanzó su punto más alto en 1980 con 210 billones de galones de agua al día y en el 2005 la medición fue de 201 billones de galones de agua diarios. La causa parcial de este descenso se atribuye a varias secciones reflejadas en el *Clean Water Act* (Decreto para las Aguas Limpias) que fueron corregidas en 1972. Desde entonces han ido aumentando las centrales eléctricas que han empezado a utilizar sistemas de enfriado por recirculación de agua (torres de enfriamiento o estanques) y/o sistemas de enfriamiento secos (enfriado por aire) en lugar de usar sistemas de enfriamiento en los que el agua o el aire sólo circulan una vez y no se reciclan. Esto ha jugado un papel importante en la reducción de la demanda de agua en las centrales eléctricas.

Tabla 1: Consumo Total de Agua en los EEUU

Consumo Total de Agua en los EEUU	Billones de galones al día en el 2005	% del Total	% del cambio entre 1980-2005
Energía Termoeléctrica	201	49%	-4%
Regadío	128	31%	-15%
Suministro Público	44	11%	+33%
Industrial	31	8%	-31%
Ganadería/Casas Rurales	6	1%	-7%
Total	410	—	-5%
Población	230 millones en 1980	301 millones en 2005	+31%

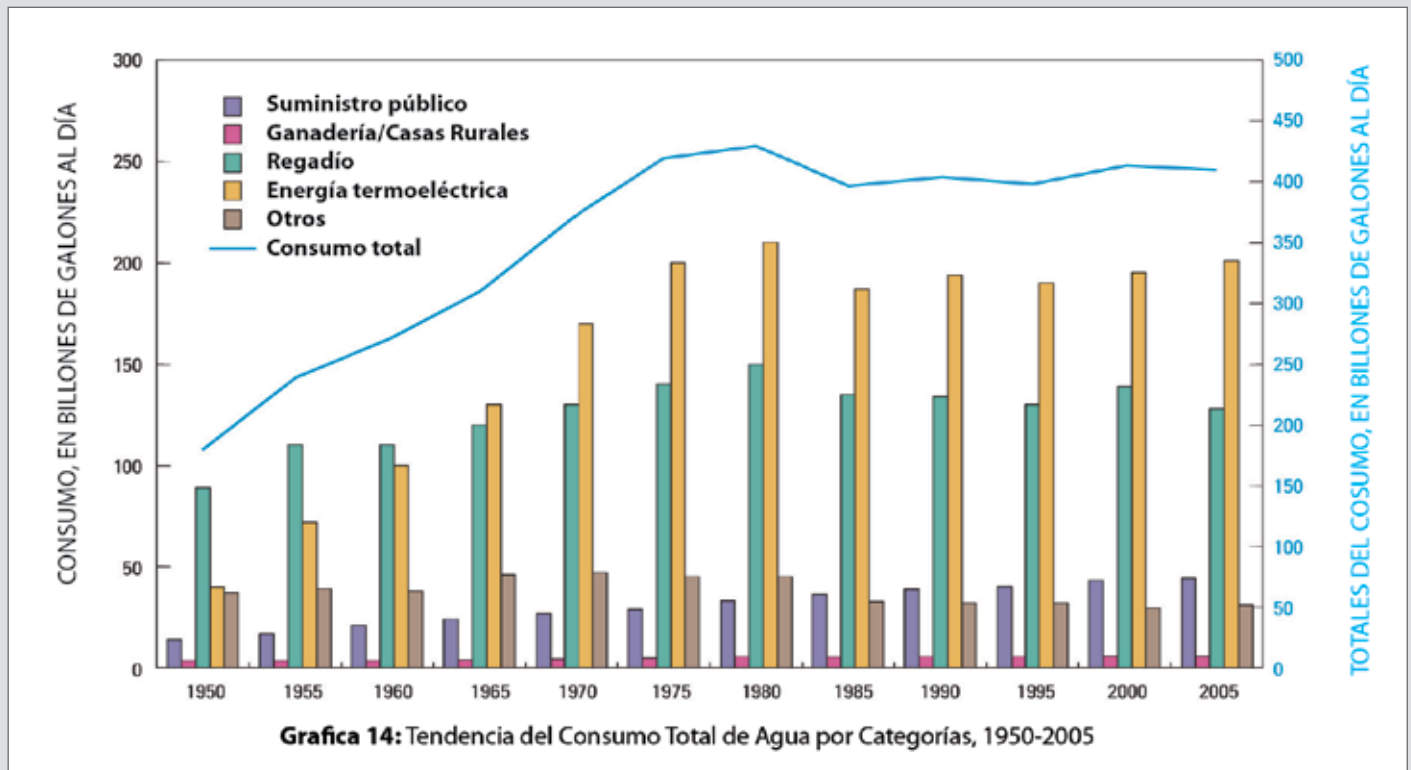
Fuente: Circular 1344, año 2009, Prospección Geológica de los EEUU, "Estimación del Consumo de Agua en los Estados Unidos en el año 2005".

Nota: Los datos del año 2010 para el consumo de agua estarán disponibles en el año 2014.

El regadío es la segunda categoría que más agua consume y también está descendiendo. El consumo de agua en el 2005 fue de 128 billones de galones al día – una caída del 15 por ciento si comparamos con el punto más alto de consumo del año 1980 - y representa el 31 por ciento del consumo total.

- El promedio de la aplicación del ratio para el agua de regadío ha descendido a ritmo constante desde 3.55 acre-pies en 1950 hasta 2.35 acre-pies en el 2005.
- Este descenso se atribuye al crecimiento del uso de sistemas eficientes de aspersores en lugar de los sistemas por inundación⁴.

Tabla 2: Tendencia del Consumo Total de Agua por Categorías (Prospección Geológica de los EEUU)



Fuente: Circular 1344, año 2009, Prospección Geológica de los EEUU, "Estimación del Consumo de Agua en los Estados Unidos en el año 2005".

Nota: Los datos del año 2010 para el consumo de agua estarán disponibles en el año 2014.

Aumento del Consumo Público de Agua

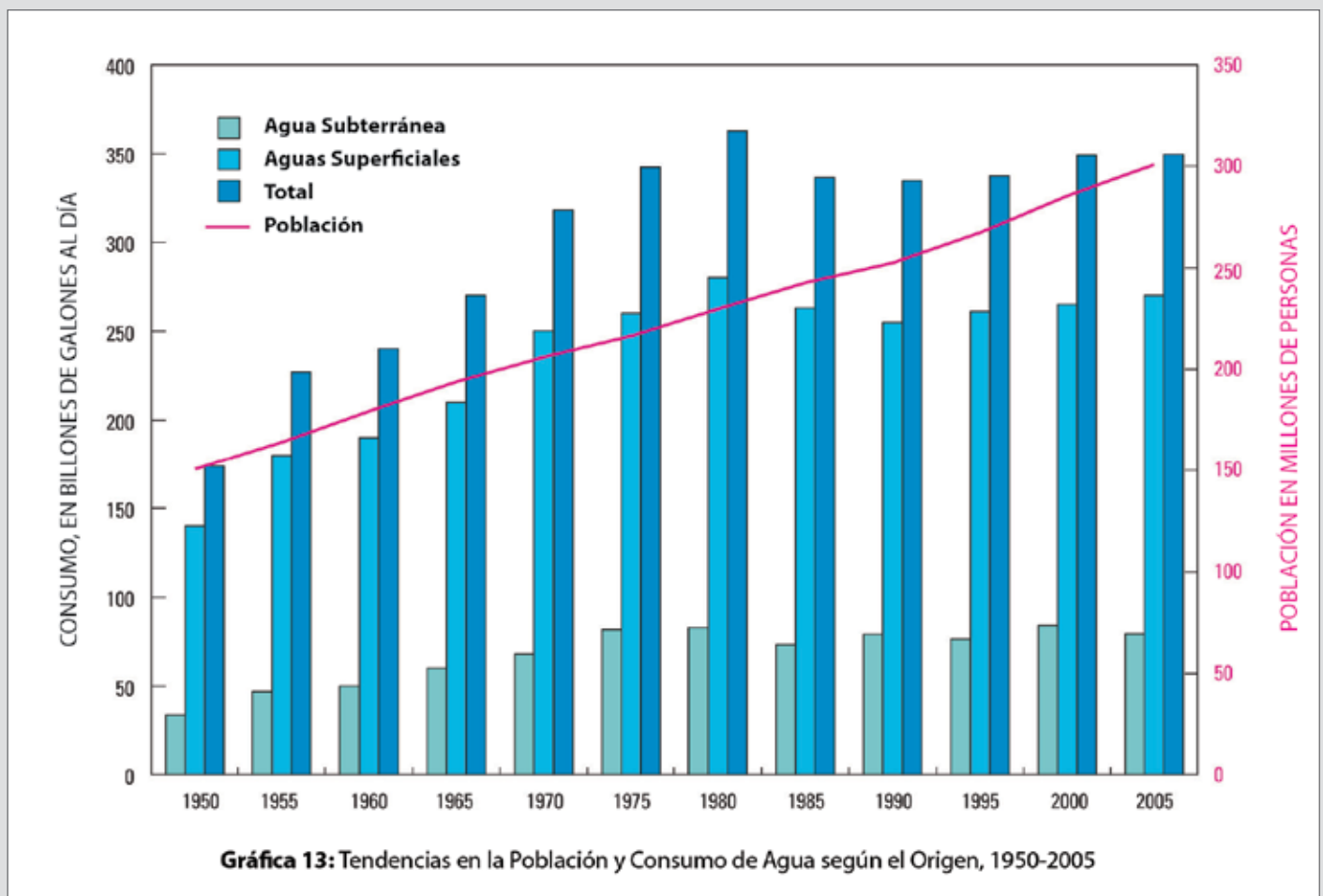
El suministro público hace referencia a los usuarios domésticos, comerciales y industriales de la red pública de suministro de agua. El suministro de agua en el año 2005 fue de 44.2 billones de galones al día. Esto significa un aumento del 33 por ciento desde el año 1980. Este es un reflejo del crecimiento de la población que, en el mismo periodo, creció el 31 por ciento.

- El consumo doméstico representó el 58 por ciento del total mientras que el consumo comercial e industrial fue del 42 por ciento.
- En el total del consumo comercial e industrial están incluidos diferentes usuarios como fábricas, tratamiento de aguas, parques de bomberos, piscinas, parques, pérdidas en la red, y todos los edificios que tienen más de 15 conexiones de agua⁵.

Desciende el Autoabastecimiento de Agua para el Uso Industrial

Los usos industriales de agua son fabricación, proceso, lavado, desleimiento, enfriamiento y transporte de productos o para necesidades sanitarias de las plantas de fabricación. Algunas industrias utilizan grandes cantidades de agua para la producción de sus activos como las papeleras, alimentarias, químicas,

Tabla 3: Tendencias en la Población y Consumo de Agua según el Origen



Fuente: Circular 1344, año 2009, Prospección Geológica de los EEUU, "Estimación del Consumo de Agua en los Estados Unidos en el año 2005".
Nota: Los datos del año 2010 para el consumo de agua estarán disponibles en el año 2014.

refinerías y siderometalúrgicas. El agua para uso industrial puede ser suministrada por un tercero o autoabastecida. Los estándares de calidad para aguas residuales apuntados en el *Clean Water Act*, también han influido a la conservación de agua. La Prospección Geológica de los EEUU no ofrece datos sobre el autoabastecimiento de agua⁶.

- El consumo industrial de agua autoabastecida fue de 31 billones de galones de agua al día, un descenso del 31 por ciento entre el año 2005 y el año 1980⁷.
- Se ha observado un crecimiento significativo de la acuicultura y de las piscifactorías.

- El consumo en la minería no ha variado significativamente.
- Esto refleja un descenso en el nivel de empleo en el sector de la manufactura del 19 por ciento desde el año 1990 hasta el año 2005.
- Los niveles de empleo en varios sectores de la industria, usando volúmenes importantes de agua, han descendido aún más:
 - Las siderometalúrgicas descendieron el 31 por ciento.
 - Las papeleras y las refinerías descendieron el 26 por ciento.
 - Las químicas descendieron el 12 por ciento.

Sección II: Consumo de Agua en los Sistemas Industriales de Aire Comprimido

Los sistemas de aire comprimido están presentes en casi todos los procesos industriales y sus edificios. Han sido acertadamente identificados como un área de grandes posibilidades para la reducción del coste eléctrico (kW) con medidas como la reducción de fugas de aire, la identificación de la demanda artificial y los usos inapropiados. Los compresores enfriados por agua pueden ser importantes consumidores de agua y la reducción de estos costes puede representar una segunda área de oportunidad.

Tabla 4: Requisitos para el Enfriamiento por Agua de Compresores de Aire de Tornillo de Una Etapa

El Típico Compresor de Tornillo Lubricado. Estimación del Rechazo del Calor a el Agua Enfriadora (BTu/h)*				Valores Estimados para los Típicos Enfriadores de Aceite Enfriados por Aire Estimación del Rechazo del Calor a el Aire Enfriador (BTu/h)*		
Capacidad del Compresor de Aire CFM/CV**	Enfriador de Aceite Enfriado por Agua y Post-Enfriador BTu/h	GPM aproximado a 70 °F	GPM aproximado a 85 °F	Capacidad del Compresor de Aire CFM/CV	Enfriador de Aceite Enfriado por Aire y Post-Enfriador BTu/h	CFM Aproximado para el Aire Enfriador
250/62	150,900	6	10	250/62	156,300	8400
350/83	200,300	7	12	350/83	208,500	8400
500/120	276,700	11	18	500/120	287,700	12000
800/215	445,500	16	27	800/215	463,100	17500
1000/250	550,400	23	39	1000/250	572,400	28700
1200/300	668,200	33	56	1200/300	694,700	28700
1500/350	889,709	33	56	1500/350	920,000	36000
2500/500	1,543,000	49	79	2500/500	1,543,000	45000

* Estos datos son generales por naturaleza y no deben usarse para seleccionar equipos.
Es necesario estudiar las especificaciones técnicas de todos los equipos en funcionamiento.
**Sistema a 100 psig

Una fábrica “muy típica” trabajando con dos compresores de tornillo de 125 CV, enfriados por agua y de una etapa, pueden llegar a consumir hasta 11.4 millones de galones de agua al año. Una instalación más grande, con un compresor de tornillo de 350 CV y bajo circunstancias similares, puede llegar a consumir hasta 17 millones de galones al año⁸.

Muchas instalaciones más antiguas siguen utilizando compresores de aire de pistón de dos etapas y enfriados por agua. Las papeleras y acerías son ejemplos perfectos. Fábricas de este tipo pueden requerir hasta 550 millones de galones de agua al año para enfriar los compresores de aire.

Ambos, los compresores de aire y sus secadores, pueden enfriarse con agua. Recomendamos especialmente

que los directivos de energía en corporaciones con múltiples fábricas, hagan un inventario del consumo de agua provocado por los compresores y de cómo funcionan estos sistemas. Debe hacerse una evaluación en cada fábrica de la viabilidad y de los beneficios de cambiar a compresores enfriados por aire o de cambiar a un sistema alternativo de enfriamiento por agua.

¿Cuánta Agua se Requiere para Enfriar los Compresores de Aire?

La fórmula estándar, para el enfriamiento por agua de los compresores de aire, es cuántos galones de agua para 1,000 btu/hora son rechazados en el flujo del agua enfriadora. Los compresores de aire generan una carga de rechazo debido a su básica ineficiencia. Por ejemplo se necesitan entre 7 y 8 caballos de potencia

El Decreto para las Aguas Limpias (*The Clean Water Act*)

El Decreto Federal para el Control de la Polución en las Aguas (*Federal Water Pollution Control Act*) del año 1948, fue la primera ley en los EEUU enfocada en la polución de las aguas. El creciente interés de la población por la contaminación de las aguas y la preocupación por el control de la polución provocaron la redacción de radicales enmiendas en 1972. En 1977, la ley pasó a ser conocida como *The Clean Water Act* (CWA). Las enmiendas del año 1977 son:

- Establecimiento de la estructura básica para la regulación de vertidos de contaminantes en las aguas de los EEUU.
- Transferencia a la Agencia para la Protección del Medio Ambiente (EPA) de la autoridad necesaria para la implementación de programas de control de la polución incluyendo las normas para las aguas residuales industriales.
- El mantenimiento de los requisitos para el establecimiento de las normas de calidad del agua para todos los contaminantes en las aguas de superficie.
- Prohibición de vertidos ilegales desde el punto de origen a las aguas navegables, a menos que se obtenga un permiso bajo la normativa pertinente.
- Provisión para la construcción subvencionada de sistemas de tratamiento de aguas del alcantarillado.
- Reconocimiento de la necesidad de planificación para solventar los problemas críticos de la polución enfocando el punto donde la contaminación se origina.

Fuente: Agencia para la Protección del Medio Ambiente, www.epa.gov/lawsregs/laws/cwahistory.html



Tabla 5: Requisitos para el Enfriamiento por Agua de Compresores de Aire de Pistón de Doble Ciclo*

Compresores de Aire de Pistón de dos Etapas Enfriados por Agua						
Clase Bhp (CV)	Presión de descarga psig	Cap acfm	Entrada de Aire 60 °F, Agua 75 °F		Entrada de Aire 100 °F, Agua 95°F	
			Descarga de aire °F	Gpm Agua requerida	Descarga de aire °F	Gpm Agua requerida
150	125	772	335	16	370	16
200	125	1050	335	21	370	21
250	125	1300	335	26	370	26
300	125	1560	335	32	370	32
350	125	1840	335	37	370	37
400	125	2035	335	41	370	41
450	125	2340	335	52	370	52

*Estos datos son generales por naturaleza y no deben usarse para seleccionar equipos. Es necesario estudiar las especificaciones técnicas de todos los equipos en funcionamiento.



Un moderno compresor de aire de tornillo, enfriado por aire y exento de aceite

para generar 1 caballo de potencia de trabajo del aire comprimido. Esto crea un calentamiento de compresión generado durante el proceso lo que refleja esta ineficiencia. La entrada de energía que no se transforma en trabajo resulta en calor. Este calor se tiene que eliminar para asegurar el funcionamiento de los equipos y para que la fábrica pueda utilizar el aire para trabajar. Particularmente hoy, ahí donde el uso del aire comprimido es crítico, se debe enfriar y secar fiablemente y efectivamente al punto de rocío a presión específica con secadores para aire comprimido.

El cálculo de los galones-por-minuto (GPM) necesarios depende de algunas variables críticas:

- La temperatura de entrada del agua al compresor o secador.
- La temperatura permitida del agua que descargará el compresor, teniendo en cuenta que los compresores de pistón, tornillos exentos de aceite y centrífugos son capaces de soportar hasta 350 o 400 °F. Compresores enfriados por aceite soportan temperaturas máximas de 200 °F.

- Otro dato importante a estudiar son las especificaciones del fabricante como el caudal del flujo de aire (acfm a máxima presión de carga), potencia de compresor (BHP/CV) y la especificación del motor CV/kW incluyendo las pérdidas del motor en sí.
- El fabricante de los compresores de aire especifica los galones por minuto o GPM requeridos para el enfriamiento por agua.

Las Tres Fuentes Primordiales de Aguas Industriales para Enfriamiento

Suministro desde la Red Pública

Como se refleja en la Prospección Geológica de los EEUU, el consumo de agua para el uso público sigue aumentando. En los últimos 40 años estos costes han escalado rápidamente reflejando la escasez de agua y los costes de su tratamiento. Hoy en día se considera como una excepción, el uso de agua pública para enfriar los sistemas de compresores. Los costes verdaderos no son siempre tan evidentes. No deben ignorarse costes adicionales como el alcantarillado. A menudo, el agua de la red municipal todavía necesita tratamiento para que funcione efectivamente para el enfriamiento industrial. Estos costes también deben ser considerados.

Autoabastecimiento de Agua de Pozos

El agua de los pozos tiene características diferentes dependiendo de dónde provenga pero generalmente nunca es “gratis”. Después de que el pozo ha sido perforado, en muchas partes del mundo la buena noticia es que el agua normalmente está fría. La mala noticia es que normalmente necesita considerable filtraje y tratamiento para el uso industrial.

También se necesita electricidad para bombearla del subsuelo y para su circulación a través de los equipos. Hoy en día, el coste de la eliminación de agua caliente que se ha usado como enfriador, ha escalado ya que las diferentes autoridades pueden haber limitado el vertido de agua calentada a los ríos y lagos por la polución térmica que esto supone. En muchas áreas las reservas de agua de pozo están disminuyendo así como el nivel hidrostático y cuando el pozo envejece, desciende el flujo de galones por minuto.

Aguas Fluviales

Las aguas de ríos, arroyos y lagos tienen las mismas limitaciones que las aguas de pozo en cuanto a las necesidades de filtración y tratamiento. En la actualidad y en muchas áreas, sino en todas, ya no es “gratis” y hay que pagar para el vertido de agua calentada de vuelta al río o lago local. La Agencia de Protección Medioambiental, *Environmental Protection Agency* en el contenido del *Clean Water Act* (Decreto para las Aguas Limpias) especifica las regulaciones a cumplir y Monitorear para todos los vertidos de agua.

Cálculo de los Costes Básicos del Agua para los Sistemas de Aire Comprimido

A pesar de lo que digan los números en “la regla general” de cálculo de los costes del agua (sin incluir costes energéticos), seguramente no serán exactos dependiendo de cada ubicación concreta. Este coste es muy específico y debe ser el primer factor a determinar al embarcarse en un programa de estudio del coste del agua y control energético. Todos estos crecientes costes junto con las horas de los trabajadores requeridas para la medición y proceso, han motivado a las fábricas para suministrar, autoabastecer o reemplazar su consumo de agua.

“La Regla General” Fórmula de Cálculo para el Coste del Enfriamiento por Agua de los Compresores de Aire.

(a ó b) + c

Fórmulas:

- a.** Coste del agua para enfriamiento que no fue tratada = (Galones anuales/1,000) x \$3 dólares
- b.** Coste del agua para enfriamiento tratada = (Galones anuales/1,000) x \$4.20 dólares)
- c.** Coste eléctrico del ventilador en el interior de la carcasa del compresor de aire = (kW x hora x [dólar/kWh])

Ejemplo:

Un compresor de aire de tornillo, doble-etapa, enfriado por agua, lubricado y de 100 CV. Suponiendo:

- 8,600 horas en funcionamiento al año (a tener en cuenta el tiempo en paro)
- Volumen de agua para enfriamiento de 11 GPM a 70 °F
- Coste del agua para enfriamiento que no fue tratada de \$3 dólares por cada 1,000 galones
- Potencia del ventilador en el interior de la carcasa del compresor de aire de 1.1 kW
- Coste eléctrico del ventilador \$0.06 dólares por kWh

Solución:

- 1° paso: para calcular **a**:
8,600 horas x (11 GPM x 60) = 5,676,000 galones de agua al año
- 2° paso: para calcular **a**:
(5,676,000/1,000) x \$3 dólares = \$17,028 dólares de coste anual del agua para enfriamiento que no fue tratada
- 3° paso: para calcular **b**: 1.1 kW x 8,600 horas x \$0.06 dólares kWh = \$567.6 dólares de coste eléctrico anual del ventilador
- 4° paso: \$567.6 dólares + \$17,028 dólares = \$17,596.6 dólares de coste anual para enfriamiento

El resultado neto de todos estos factores para el enfriamiento del agua ha provocado que los ingenieros utilicen el “coste generalizado por defecto” de **\$3.00 dólares norteamericanos por 1,000 galones** de agua para enfriamiento cuando la situación real de su propia instalación es desconocida. El coste del tratamiento de agua que lo acompaña es específico para cada situación y puede ser mucho más alto dependiendo de las condiciones de cada geografía y el mantenimiento requerido – \$1.20 dólares americanos por 1,000 galones basado en 40 partículas en granos de dureza, alcalinidad 10 y el tratamiento de biocidas incluido.



Un compresor moderno de aire de tornillo, enfriado por aire y exento de aceite.

Cambiar a Compresores de Aire Enfriados por Aire

Viendo el crecimiento de los costes y regulaciones del agua, las fábricas han

Tabla 6: Comparando Costes entre Sistemas Enfriados por Agua y por Aire: Compresor de Aire de Tornillo, de Doble Etapa, Lubricado, 100 CV

Comparando Requerimientos para Enfriado de un Compresor de Tornillo, Doble Etapa y Lubricado	Doble Etapa Lubricado	
	100 CV	
	547 acfm/111bhp a 100 psig. Descarga 180-200 °F	
	Agua	Aire
Gpm a 50 °F Eléctrico \$0.06 dólares kWh/h a 8,600 horas/año	8	Ventilador 5.5 HP 5KW/\$2,580 dólares/año
Gpm a 70 °F	11	N/C
Gpm a 80 °F	18	N/C
Total H ₂ O pérdida de presión (psid)	21	N/C
Electricidad del ventilador	1.1 kW	N/C
Coste del Enfriamiento a 70 °F H ₂ O (coste H ₂ O a \$3 dólares por 1.000 galones)	\$17,028 dólares/año	—
Coste del ventilador	\$568 dólares/año	N/C
Coste Energético Eléctrico y Agua a \$0.06 dólares kWh/h/8,600 h/año	\$17,596 dólares/año	\$2,580 dólares/año
Total del calor restante	303,000 btu/h	

intentado reducir el volumen de agua que necesitan para enfriamiento. Los sistemas de aire comprimido enfriados por agua se han convertido en el enfoque principal de trabajo. Algunos compresores de aire de tornillo enfriados por aire han mejorado sus diseños y pueden aceptar temperaturas ambientales más altas que en el pasado.

Los beneficios del cambio son fáciles de ver en términos de la reducción del consumo de agua y sus costes. Utilizando el ejemplo anterior, un compresor de aire de tornillo, enfriado por aire, doble-

etapa, lubricado por aceite y de 100 CV, consumirá el 85% menos en agua y electricidad –comparado a una unidad similar enfriada por agua-. La unidad enfriada por aire utilizará simplemente un ventilador de 5kW creando un coste energético de \$2,850 dólares al año. Asumiendo que funcionará durante 8,600 horas al año incluido el tiempo de paro, la unidad enfriada por agua a 70 °F, gastará 5,676,000 galones de agua a un coste anual de \$17,028 dólares. Añadiendo el pequeño ventilador de dentro de la carcasa del compresor y el coste anual se convierte en \$17,596 dólares.

Utilizando un ejemplo similar, un compresor de aire enfriado por aire, exento de aceite y de 200 CV mostrará el 89% de reducción del coste eléctrico y de agua –comparado a una unidad similar enfriada por agua-. La unidad enfriada por aire utilizará simplemente un ventilador de 10 kW creando un coste energético de \$5,160 dólares anuales. Asumiendo que las horas de funcionamiento son 8,600 al año incluido el tiempo de paro, la unidad enfriada por agua a 70 °F, utilizará 7,236,600 galones de agua anuales a un coste de \$44,892 dólares al año. Añadiendo el pequeño ventilador de dentro de la carcasa del compresor y el coste anual se convierte en \$45,279 dólares.

Ambos ejemplos se demuestran a una temperatura prudente de agua; 70 °F. Tampoco se ha añadido el coste de \$1.2 dólares por cada mil galones para el tratamiento del agua ni se ha añadido el coste del bombeo para la circulación.

Cuando evaluamos un cambio a un compresor de aire enfriado por aire, sin embargo, particularmente en unidades mayores que 100 CV, es importante evaluar seriamente todas las variables de la aplicación como pueden ser la ventilación de la sala, las temperaturas ambientes, la capacidad del post-enfriador y del secador, plantilla de mantenimiento, y procesos.

Con todo esto considerado, viendo las diferencias, es obvio porque las fábricas están buscando unidades enfriadas por aire siempre que sea posible y/o estudiando cómo minimizar el gasto de agua para enfriamiento cuando el enfriamiento por aire no es viable.

Tabla 7: Comparando entre Costes para Sistemas de Enfriamiento por Agua y por Aire: Compresor de Aire de Doble –Etapa, Exento de Aceite, 200 CV y de Tornillo.

Comparación entre los Requerimientos de un Compresor Exento de Aceite, Doble Ciclo y de Tornillo	Doble –Etapa, Exento de Aceite	
	Clase 200 CV	
	856 acfm/193 bhp (CV) a 100 psig Descarga a 350-400 °F	
	Agua	Aire
Gpm a 50 °F Electricidad a \$0.06 dólares kWh por 8.600 horas anuales	22	Ventilador de 11 CV/10 kW/\$5,160 dólares anuales
Gpm a 70 °F	29	N/C
Gpm a 80 °F	48	N/C
Pérdida total de presión del agua	—	N/C
CV del ventilador	1/75 kW/3,500 cfm	—
Coste del enfriamiento a 70 °F agua/dólar/año (Coste del agua = \$3 dólares por cada 1,000 galones)	\$44,892 dólares	—
Coste del ventilador	\$387 dólares	N/C
Coste energético de electricidad y agua a \$0.06 dólares kWh/8,600 horas anuales	\$45,279 dólares	\$5,160 dólares
Total de calor restante	599,000 btu/hr	

Sección III: Seis Tipos Diferentes de Sistemas de Enfriamiento

La mayoría de compresores de aire han sido diseñados para recibir agua enfriada al flujo requerido y a una temperatura de entrada de 100 °F y se espera una temperatura de salida entre 120 °F y 130 °F. Estas cifras deben recordarse cuando se evalúa cualquier sistema de enfriamiento de compresores de aire.

La evaluación del sistema de enfriamiento para el compresor deberá incluir las prestaciones del post-enfriador por su relación con la temperatura de entrada que entregará al secador de aire comprimido. Los secadores de aire comprimido están casi todos diseñados para recibir la toma de aire para secarla a 100 psig y 100 °F. Con una temperatura de entrada al secador superior a 100 °F (ratio de la temperatura de admisión), la carga de humedad por scfm al secador subirá considerablemente reduciendo el ratio de la capacidad del flujo de secado. Para la aplicación correcta, tenga en cuenta, la temperatura de entrada del aire al secador y la temperatura de acercamiento del medio de enfriamiento – aire o agua.

Con la excepción de compresores grandes de pistón enfriados por agua, la mayoría de compresores de tornillo y centrífugos, tienen altas pérdidas de presión cuando se comparan con muchas otras máquinas comunes enfriadas con fluidos. Cuando sea posible, cada compresor (o grupo de compresores) debe estar en su propio sistema para evitar otras pérdidas de presión que afectarán al flujo del medio de enfriamiento de los compresores.

Un enfriador auxiliar eficaz debe estar bien controlado para modular con efectividad el flujo y manejar el uso de energía. A menudo estos enfriadores

tienen el tamaño suficiente para manejar el 100% de la carga y mantener los equipos funcionando aun en caso de emergencia.

La energía que utilizan las bombas de circulación viene determinada por el volumen de flujo y del cabezal. Si las tuberías están mal configuradas o no tienen el tamaño correcto, se perderá presión y cabezal. Instalar el enfriador demasiado lejos de los compresores de aire o en el tejado de la fábrica también aumentará el cabezal del fluido enfriador y va a requerir bombas más grandes.

Sistema de Enfriamiento 1: Estanques para Recirculación

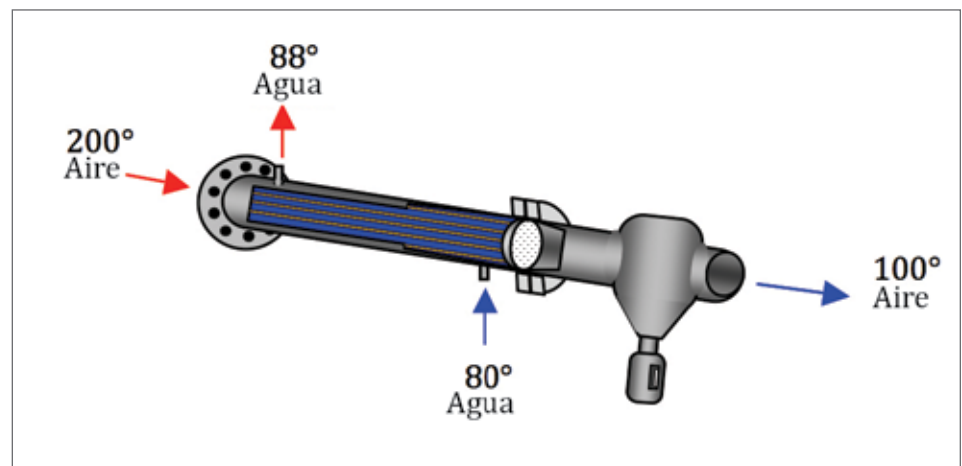
Los estanques para recirculación de agua enfriadora son una opción para el suministro localizado de agua para enfriamiento. Si el estanque es suficientemente grande para ser capaz de recoger la carga de calor bajo las peores condiciones y mantener una temperatura aceptable, puede ser bastante efectivo particularmente en instalaciones grandes. Nótese que también tienen algunas limitaciones inherentes:

- Significante pérdida de agua por evaporación ambiental.

- Continua acumulación de depósitos que pueden reducir significativamente la capacidad de absorción de calor y perder su utilidad.
- El tratamiento de agua sigue siendo necesario.
- El agua para compensar las pérdidas también es un gasto, como por ejemplo el bombeo desde el pozo, agua de la red pública, etc.
- Se requiere también una estación de bombeo para la circulación del agua.

Sistema de Enfriamiento 2: Enfriadores Auxiliares

Un enfriador auxiliar es un pequeño intercambiador de calor que se usa solamente en los momentos punta de excesiva carga de calor. Se instalan para complementar un sistema más grande diseñado para abarcar las necesidades de enfriamiento durante el 85-90% del tiempo. Un enfriador auxiliar permite que la fábrica funcione a menor consumo de agua porque sólo está ahí para casos de emergencia de puntas de calor. Un enfriador auxiliar puede ser un armazón y un tubo de intercambio de calor o puede ser un chiller en un gabinete cerrado.



Un enfriador auxiliar tipo agua a aire.

Sistema de Enfriamiento 3: Enfriamiento por Aire Seco. No se Requiere Agua

Estos enfriadores son sistemas cerrados en forma de bucle que normalmente utilizan una mezcla de agua (60%) y aceites sintéticos (40%) llenados una única vez y que viajan a través de tubos con aletas. Los enfriadores constan de módulos, cada uno con un pequeño ventilador para enfriar el aire. A medida que la carga de calor se va reduciendo, los ventiladores se irán apagando individualmente y se pondrán de nuevo en marcha cuando se necesite. Los sistemas de enfriamiento por aire seco



Sistema Típico de Enfriamiento de Fluido de Aire Seco – Normalmente utiliza la mezcla apropiada agua/glicol.

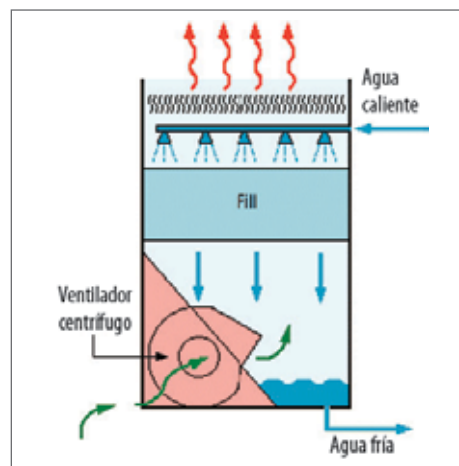
están disponibles desde 160,000 btu/año para caudales de 250 cfm hasta la clase de 4,000,000 btu/hora para caudales de 6,000 cfm, con tamaños especiales para otros niveles.

Los intercambiadores de calor enfriados por aire pueden ser fabricados para dar una temperatura de acercamiento de 2 °F pero por economía se dicta un acercamiento de la temperatura a 5 °F. Eso significa que en ciertas partes del país, podrán ser capaces de manejar las necesidades de enfriamiento de un compresor de pistón con poco o sin enfriamiento auxiliar. El aire seco para enfriamiento, cuando se combina con enfriadores auxiliares, puede proveer a las fábricas con una alternativa fiable y de bajo coste contra las máquinas enfriadas por agua.

Sistema de Enfriamiento 4: Torre Abierta de Enfriamiento por Evaporación

El sistema de enfriamiento por agua que requiere menor coste de capital es el del tipo torre abierta. En este sistema, el agua caliente de retorno fluye a través de una vía abierta donde se va enfriando gracias a la continua evaporación mientras se mueve el aire ambiental con un ventilador para que extraiga un porcentaje del vapor al aire ambiental. Estas torres tendrán una bomba más pequeña para circular el agua a través del área a enfriar y un ventilador de motor eléctrico grande para mover aire por y a través del agua enfriadora para optimizar el enfriamiento por evaporación. También hay un sistema que utiliza agua por descarga o expulsión.

El primer beneficio de este tipo de sistema es que mientras aumenta la temperatura ambiente, también aumenta el ratio de evaporación lo que significa que en muchos países fríos, el sistema entregará agua para enfriamiento cerca de los 85 °F siempre que estén operando adecuadamente y bajo las limitaciones de su diseño. Las torres abiertas para enfriamiento prevalecen en la industria y se las conoce afectivamente como “lavadoras de aire” lo que significa que



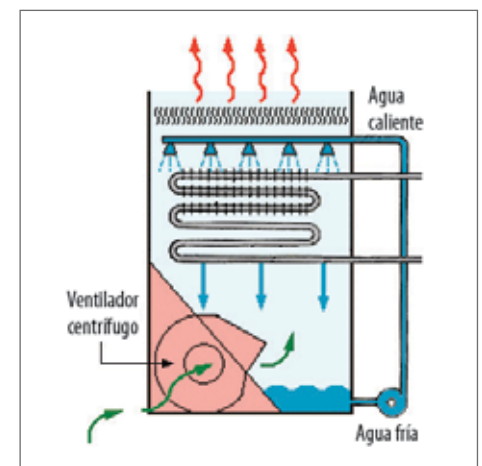
Típica Torre de Evaporación Abierta con Flujo Inverso

eliminan suciedad e impurezas del aire ambiental, generando una limpieza continua de la torre.

El factor de la contaminación, junto con el alto nivel de agua requerida para el relleno, requieren tratamiento minucioso apropiado y monitorización de las condiciones. Estos son prerequisites a tener en cuenta para una buena instalación. Las torres abiertas también inyectan oxígeno en el sistema de proceso por agua que puede causar o no causar problemas de corrosión u otras necesidades de mantenimiento.

Sistema de Enfriamiento 5: Torre de Enfriamiento con Circuito Cerrado con Mecanismo Auxiliar de Ayuda para Enfriamiento por Evaporación

En este tipo de sistema el refrigerante principal viaja por un circuito cerrado y sellado sin exposición alguna al aire ambiental. El refrigerante puede ser agua, pero se usa más glicol y agua en una mezcla apropiada para las limitaciones de temperatura ambiente local. Esto es muy bueno para las máquinas que están siendo enfriadas porque trabaja largo tiempo sin requerir tratamiento de agua significativo o relleno.



Típica Torre de Evaporación con Circuito Cerrado de Fluido Refrigerante con Evaporador

Tabla 8: Comparación para un Compresor Centrífugo de 3 Etapas Enfriado por agua/fluido Directos, 2.750 scfm a 100 psig a 290 CV.

Enfriamiento del Compresor		1,000 btu/hr	gpm		
Post enfriador	1,000 btu/hr	1,547	—		
	Gpm a 85 °F	—	124		
Enfriador del Aceite	1,000 btu/hr	145	—		
	Gpm a 85 °F	—	29		
Total	1,000 btu/hr/gpm	1,692	153		
	Agua de la Red Municipal que No Recircula	Sistema por Evaporación de Agua Abierto	Torre de Evaporación con Circuito Cerrado	Enfriador de Aire Seco con Sistema Auxiliar	
Agua Enfriada para Enfriar el Compresor – gpm-dólares/año	153 \$236,844 dólares	Recirculada	Recirculada	N/C	
Total galones/año a \$3 dólares/1,000 galones	78,948,000	N/C	N/C	N/C	
Motor de la Bomba para Circulación con Spray a \$0.06 dólares/kW/8,600 h/año	N/C	kW/100% \$516 dólares	kW/30% \$155 dólares		
Motor del Ventilador para el Sistema de Enfriamiento Principal kW/año a \$0.06 dólares/8,600 h/año	N/C	75 CV 60 kW \$30,960 dólares/año	11 CV 10 kW \$5,160 dólares/año	(12) 1.5 CV 18 CV a 50% uso 9 kW \$4,644 dólares/año	
Agua para Rellenado a Causa de la Evaporación- gpm dólares/año galones/año	N/C	3.4 gpm \$5,264 dólares/año 1,754,400	1.2 gpm \$1,858 dólares/año 619,200	N/C	
Agua de descarga gpm (\$3 dólares/1,000 galones) dólares/año galones/año	N/C	45.9 \$71,052 dólares/año 23,684,400	1.7 \$2,632 dólares/año 877,200	N/C	
Total de Galones de Agua para Tratamiento	78,948,000	25,438,400	1,496,400	N/C	
Coste del tratamiento de agua a nivel de dureza 42, alcalinidad 10 con tratamiento por biocidas a \$1.20 dólares/1,000 galones	\$94,737 dólares	\$30,526 dólares	\$1,795 dólares	N/C	
Costes de operación del enfriador auxiliar durante clima con extremas temperaturas; enfriador "chiller" kW/% de tiempo a \$0.06 dólares/kWh/8,600h/año	N/C	N/C	N/C	30% uso 9 kW \$1,393 dólares/año	
Motor eléctrico de la estación de bombeo en kW – basado en 160 gpm, 100 pies de cabezal, gravedad específica 1 100% del tiempo a 0.06 kWh/8,600 h/año	7 kW \$3,612 dólares	7 kW \$3,612 dólares	7 kW \$3,612 dólares	7 kW \$3,612 dólares	
Coste Total de Operación del Agua en dólares/año	\$335,039 dólares/año	\$136,666 dólares/año	\$13,350 dólares/año	\$9,649 dólares/año	

El sistema de enfriamiento está equipado con una bomba tipo spray accionado por un motor y un rociador que rocía un spray sobre los intercambiadores de calor enfriados por aire cuando el clima es caluroso y crea evaporación para enfriamiento auxiliar similar a la de las torres abiertas que hemos descrito anteriormente.

Sistema de Enfriamiento 6: Circuito Cerrado de Enfriamiento con Evaporación

Los sistemas de enfriamiento con circuito cerrado en forma de bucle con evaporación, necesitan agua adicional en magnitudes dictadas por las condiciones ambientales. También hay una bomba a motor para la circulación del refrigerante y un ventilador a motor para enfriamiento por aire similar al que contienen las torres de enfriamiento abiertas. También se requiere una estación de bombeo estándar y quizás también se puede necesitar para descarga o expulsión.

Dependiendo del diseño y de las condiciones operativas, este tipo de torres de enfriamiento utilizan flujo paralelo, cruzado o inverso. Comparado a una torre abierta de enfriamiento por evaporación, el sistemas de enfriamiento con circuito cerrado tiene costes iniciales más elevados pero también algunas ventajas que pueden ser significantes cuando lo dictan las condiciones operativas.

En sistemas de aire comprimido, el proceso del agua debe ser capaz de funcionar a toda su capacidad durante todo el año. Esto significa que es crítico mantener el circuito del líquido refrigerante limpio y fiable. Para hacer esto en una torre abierta, se requiere el adecuado y minucioso tratamiento de agua y mantenimiento. El sistema de circuito cerrado, básicamente está aislando el fluido refrigerante del compresor del aire ambiental y sus contaminantes:

- Esto reduce la cantidad de veces que hay que parar el sistema de enfriamiento para su limpieza.
- Este tipo de enfriador tiene menor volumen de recirculación de agua lo que requiere menos filtración.
- El fluido para el enfriamiento del compresor requiere mínimo tratamiento.
- Durante periodos de operación seca (temperaturas exteriores frías) la necesidad de evaporación por spray y por consiguiente, el rellenado de agua, se elimina.
- Estas unidades, así como muchos otros sistemas de enfriamiento de agua, están vinculadas a otras fuentes de enfriamiento o "chillers". Estos enfriadores auxiliares enfrían el fluido del sistema principal cuando las altas temperaturas lo requieren.

Conclusión

Mientras la población siga creciendo, el uso industrial de agua va a tener que seguir descendiendo para contrarrestar el incremento del consumo público de agua. Los sistemas de aire comprimido ofrecen una oportunidad para los directivos de energía de reducir los costes asociados al consumo de agua para enfriamiento. Entender los coste y los tipos de sistemas de enfriamiento alternativos, es un primer paso importante.

Para el agua pública, todas las opciones son preferibles a las que el agua sólo circula una vez y no se recicla. Las crecientes regulaciones y controles sólo harán que se incremente el coste. El coste real de las torres abiertas de evaporación y las de circuito cerrado puede llegar a ser mucho mas alto debido a la mayor necesidad de tratamiento del agua pública, las regulaciones para vertidos y los costes de alcantarillado con sus recargos. Si la fábrica no puede simplemente cambiar de una unidad enfriada por agua a una unidad enfriada por aire, el sistema de enfriamiento por aire seco (con equipo auxiliar) tiene los costes más bajos y resultados muy predecibles.

Para más información, por favor, contacte al Señor Nitin G. Shanbhag, Gerente Ejecutivo General, Grupo de Tecnología del Aire, Hitachi América, airtechinfo@hal.hitachi.com www.hitachi-america.us/spanishairtech

1 Uso Estimado de Agua en los EEUU en el 2005, Joan F. Kenny, Nancy L. Barber, Susan S. Hutson, Kristin S. Linsey, John K. Lovelace y Molly A. Maupin del Departamento del Interior de los EEUU, Encuesta Geológica, Reston, Virginia, 2009, Circular, Página 1,344

2 Ibid, Tabla 14 Tendencias en el uso de agua estimado en los EEUU. Página 43

3 Ibid página 42

4 Ibid, Página 45

5 Ibid página 16

6 Ibid página 32

7 Ibid página 1

8 Gráficos tomados de las hojas de datos de un compresor de tornillo de un ciclo, lubricado a 100 psig de presión, 8,600 horas de funcionamiento y temperatura del agua de 70 °F

HITACHI AMERICA, LTD.
Air Technology Group

5808-Q Long Creek Park Drive
Charlotte, NC 28269

Email: airtechinfo@hal.hitachi.com
www.hitachi-america.us/spanishairtech