

# Software de Análisis de Costos de Energía y Operación de Torres de Enfriamiento

Por Dr. Ron Cox, Ph.D.

Copyright © 1996 Tower Tech, Inc. Todos los Derechos Reservados.

## Introducción

El software de análisis de costos de energía y operación de torres de enfriamiento es un programa interno desarrollado por Tower Tech y utilizado para diseñar y evaluar el funcionamiento y los costos del ciclo de vida asociados a una torre de enfriamiento. Esta versión estima el costo de compra y operación de una torre de enfriamiento Tower Tech y de una torre de la competencia. Se asumieron algunos datos sobre detalles de la torre de la competencia puesto que no se contó con información detallada; de igual manera se hicieron suposiciones para simplificar sobre ambas configuraciones y condiciones de operación para reducir la extensión del problema. Debido a lo anterior, las estimaciones de los costos devengados quizá no reflejen el costo real del cliente, sin embargo, la magnitud relativa entre la torre de Tower Tech y la torre de la competencia debe significar un indicador de los ahorros potenciales y permitir al cliente que haga averiguaciones.

## Configuración

Cada Torre de Enfriamiento Modular patentada Tower Tech contiene varias celdas de ventiladores múltiples, éstos pueden graduarse en maneras u operarse con controladores de frecuencia variable. El cuadro muestra una popular estrategia de graduación con el uso de un controlador de temperatura en la línea de torres de enfriamiento ensambladas en fábrica de Tower Tech. En el análisis de energía descrito más adelante, los ventiladores están graduados en pares o son controlados por un solo VDF.

Controlador de Temperatura  
(El número de ventiladores operadores)

	Punto de Consigna 1	Punto de Consigna 2	Punto de Consigna 3	Punto de Consigna 4	Punto de Consigna 5
Modulo de 2 ventiladores	1	2			
Modulo de 3 ventiladores	1	2	3		
Modulo de 4 ventiladores	2	4			
Modulo de 6 ventiladores	2	4	6		
Modulo de 8 ventiladores	2	4	6	8	
Modulo de 10 ventiladores	2	4	6	8	10

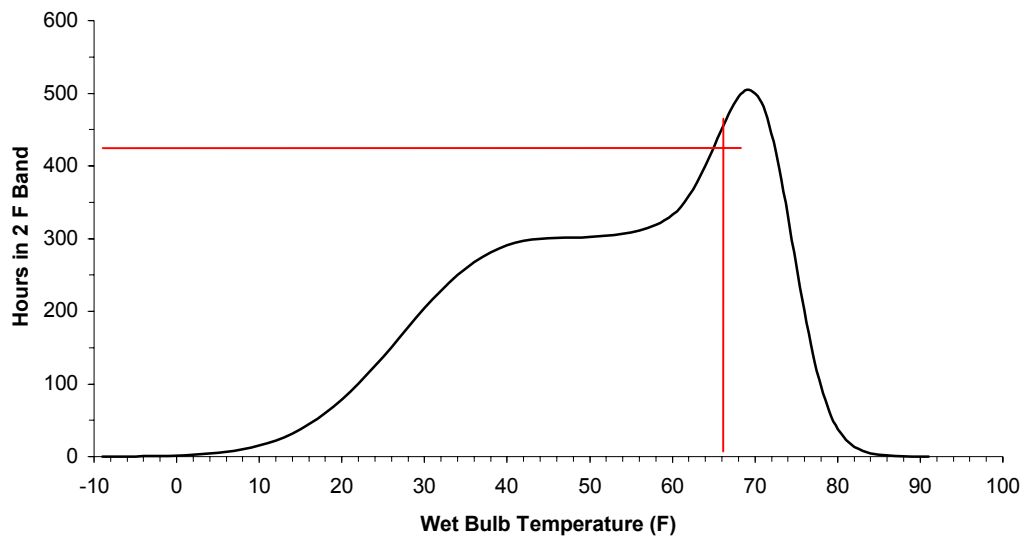
Para simplificar el análisis, se presume que hay la misma cantidad de bombas que de celdas y que las bombas están en paralelo. La Boquilla Rotatoria Aspersora de Tower Tech permite que un flujo variable corra a la torre. Es posible tener velocidades de flujo de la boquilla de 115 GPM hasta 350 GPM, lo cual permite que el operador maximice el ahorro de energía al distribuir agua a las celdas. En este análisis, el agua es distribuida a todas las torres sin sobrepasar el límite mínimo de 115 GPM por boquilla.<sup>1</sup>

Una torre de la competencia está diseñada como una serie de celdas de un solo ventilador, cada uno con un motor de una o dos velocidades. Se presume que hay la misma cantidad de bombas que de celdas y que las bombas están en paralelo. Se asume que una torre es drenada por medio de la válvula cuando se apaga una bomba. Esto mantiene la misma velocidad de flujo en las boquillas de la torre.

Aunque se desconoce el rendimiento exacto de la torre de la competencia, es posible hacer un cálculo razonable sobre el rendimiento de la torre si se diseña como una combinación de celdas cuadradas con un área total igual al área de la torre Tower Tech. El diámetro del ventilador de la competencia se eligió para dar un área total de ventilador igual al del modelo Tower Tech. El diámetro del mamelón se eligió para mantener la misma relación de diámetro mamelón-a-ventilador. Se eligió una caja de velocidades preeliminar con una eficacia de 96%, entonces se realizó un ajuste a la eficacia de manera que la torre de la competencia tuviera el 100% de rendimiento al punto diseñado con los caballos de fuerza establecidos.

## Condiciones del Medio Ambiente

Por lo general, las torres de enfriamiento se dimensionan para satisfacer un punto de diseño. Una mira estrecha sobre los costos de energía en este punto, que quizá de un total de sólo 100 horas al año, puede costar mucho al dueño durante operaciones no pico. Más adelante se muestra la distribución del bulbo húmedo en el área de la ciudad de Oklahoma.<sup>2</sup> La gráfica se lee a partir de la temperatura de bulbo húmedo en la abscisa. La ordenada representa el número de horas al año que el bulbo húmedo está entre más o menos un grado de dicho bulbo húmedo. Por ejemplo, durante aproximadamente 425 horas, el bulbo húmedo se encuentra entre 17.7 °C y 18.8°C. La forma de la gráfica es típica en áreas con cuatro estaciones diferentes. Hay un crecimiento gradual en horas a bulbos húmedos menores, seguido de un valle y termina en un área pico que desciende a cero.



**Horas en Banda 2° F. / Temperatura de Bulbo Húmedo (° F.)**

El análisis de energía aquí descrito toma en cuenta la variación en la temperatura del bulbo húmedo durante todo el año. Debido a que, algunas veces, la temperatura ambiente del bulbo húmedo es mayor que la temperatura del bulbo húmedo diseñada, es necesario modificar el método de análisis. Puesto que el bulbo húmedo aumenta por encima de la condición de carga diseñada, es necesario aumentar la temperatura del agua caliente. Para simplificar el análisis, se fijó la temperatura del agua fría y se alteró artificialmente la temperatura del bulbo húmedo. Todos los bulbos húmedos mayores a  $-16.6^{\circ}\text{C}$  menor que la temperatura diseñada del agua fría son reemplazados con dicha temperatura. Entonces se registra que estos puntos no alcanzaron la carga diseñada. La velocidad de evaporación que resulta de este enfoque modificado generalmente es un poco menor a lo que ocurriría si la temperatura del agua fría subiera. Entonces, el agua utilizada puede ser un poco más alta que lo predicho.

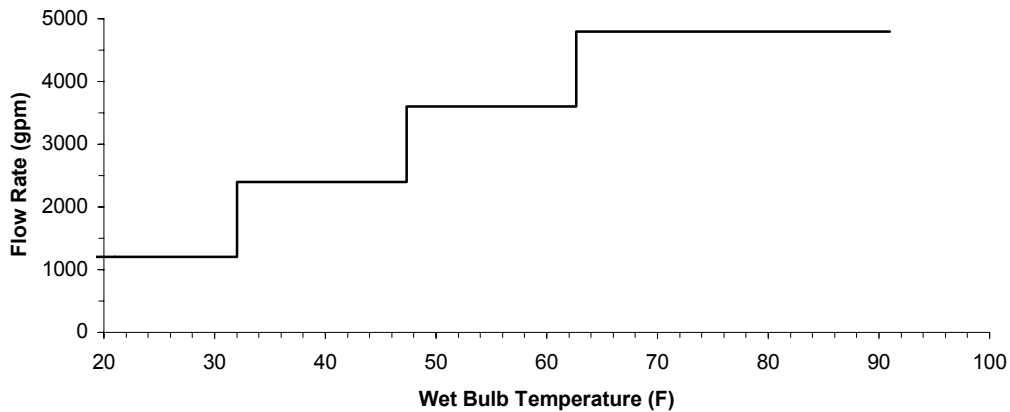
## Condiciones de Operación

La información introducida al software de análisis de energía consiste en tres componentes; el número de torres de enfriamiento, la velocidad de flujo y la carga de calor. La carga de calor es modelada por una combinación de carga variable y una carga constante. La variable puede ser una carga enfriadora que disminuye progresivamente a medida que desciende el bulbo húmedo. Se asume que esta carga progresiva está directamente unida al número de celdas de torres de enfriamiento y al número de bombas. Por ejemplo, cinco enfriadores son enfriados por una torre de cinco celdas a las cuales les llega agua por medio de cinco bombas.

Es común variar la velocidad de flujo a la torre de enfriamiento a medida que cambia la carga. Se presume que hay la misma cantidad de bombas y de celdas y que las bombas están en paralelo. Ya que la fracción del cabezal de bombeo que puede atribuirse a los efectos de viscosidad puede no estar fácilmente disponible, la variación de pérdidas en la viscosidad con velocidad de flujo no se toma en cuenta y el resultado es una relación lineal entre el número de bombas y la velocidad de flujo. Se requieren dos entradas para definir la variación en la velocidad de flujo, la velocidad de flujo máxima y el número de bombas en operación durante condiciones de operación en invierno.<sup>3</sup> Se asume que las bombas están apagadas en aumentos iguales de la temperatura del bulbo húmedo entre el bulbo húmedo diseñado y el inicio del modo de operación en invierno. Si existen  $N$  bombas y  $N_w$  bombas operando en cargas de invierno, entonces las bombas son apagadas en aumentos iguales de temperatura en

$$\Delta T_p = (T_{WBD} - T_{wo}) / (N - N_w).$$

Si una torre de cuatro celdas tiene una velocidad de carga de verano de 4800 GPM, un bulbo húmedo diseñado de 25.5°C, y una bomba en operación en condiciones de carga en invierno, entonces se da como resultado la siguiente distribución de velocidad de flujo.

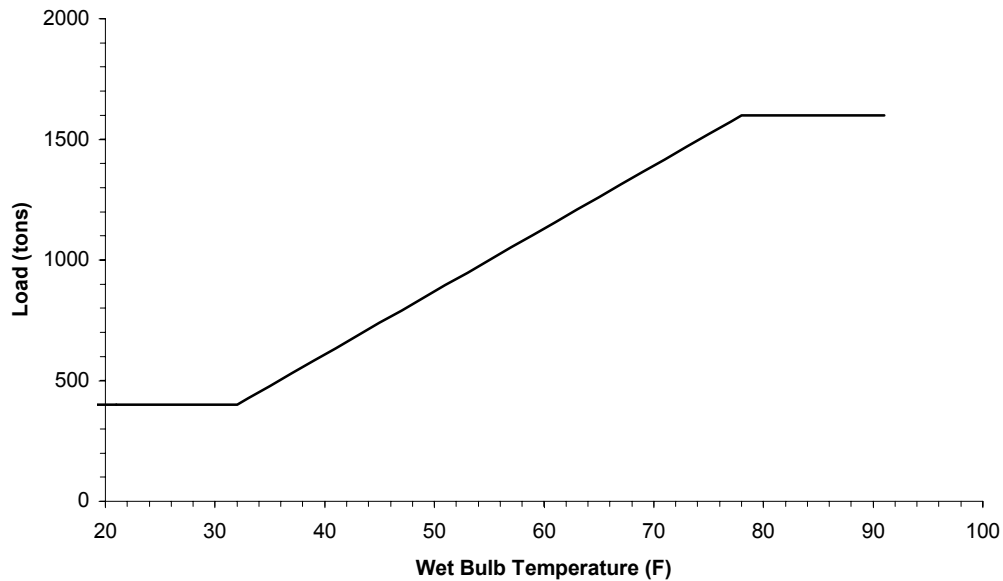


**Relación de Flujo (GPM) / Temperatura de Bulbo Húmedo (° F.)**

La distribución de carga térmica es definida por tres entradas, la carga mínima y máxima y el bulbo húmedo diseñado. Las dos cargas pueden ser idénticas por un proceso constante de carga térmica. De manera alternativa, la carga mínima puede ser definida como cero si la torre está fuera de operación durante un periodo del año. La carga térmica permanece constante en el valor máximo para todos los bulbos húmedos mayores a la temperatura de diseño. La carga permanece constante en la carga mínima para todas las temperaturas menores a la de operaciones en invierno. Entre ambos extremos, se asume que la distribución de carga térmica varía de manera lineal con la temperatura del bulbo húmedo. Es decir:

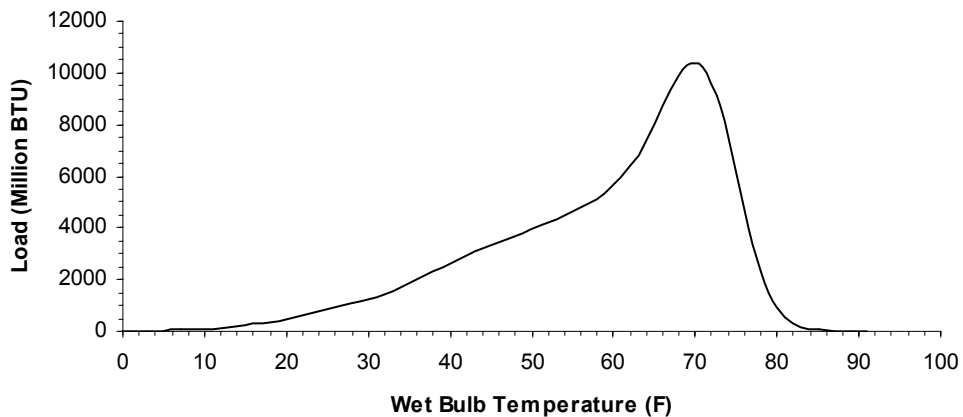
$$\dot{Q} = \dot{Q}_{\min} + (\dot{Q}_{\max} - \dot{Q}_{\min}) \min \left[ 1, \frac{\max(0, T - T_{wo})}{T_{WBD} - T_{wo}} \right]$$

La siguiente representación es la distribución de una carga térmica generada por una torre con una carga de 1600 ton en verano y una carga de 400 Ton en invierno a un bulbo húmedo diseñado de 25.5°C.



**Carga (Tons) / Temperatura de Bulbo Húmedo (° F.)**

La remoción térmica real que se presenta a una temperatura específica del bulbo húmedo es el producto de la carga térmica y el número de horas de operación en ese bulbo húmedo. Una gráfica de la remoción térmica versus el bulbo húmedo para la carga térmica mostrada en la gráfica anterior y la distribución del bulbo húmedo para la ciudad de Oklahoma mostrada a continuación.



**Carga (Millones BTU) / Temperatura de Bulbo Húmedo (° F.)**

Aunque la carga térmica y el bulbo húmedo pueden disminuir durante el año, la carga por torre puede aumentar si se apagan demasiadas celdas. En consecuencia, el análisis puede descubrir condiciones de operación durante cargas térmicas en horas “no-pico” cuando las torres son insuficientes.

## Análisis de Costo

El usuario prudente sabe que existe una serie de costos asociados a la compra, operación y mantenimiento de una torre de enfriamiento. El siguiente es un intento por cuantificar dichos costos.

## Costos de Bombeo

No debemos pasar por alto el efecto adverso del ahorro en el cabezal de bombeo. Una reducción en el cabezal de bombeo puede relacionarse a menor costo de materiales de tubería y menor trabajo de instalación, menor tiempo de mantenimiento de las tuberías, menor espacio en el suelo ocupado por las bombas, etcétera. Ignoraremos estos costos pero sí incluiremos el ahorro inicial en el costo del bombeo. Depende del lugar de la línea de bombeo en que aterricen la velocidad de flujo y el aumento de presión, la reducción en el cabezal de bombeo puede ser equivalente a la reducción en el tamaño de la bomba. Es posible reducir las dimensiones del impulsor como mínimo. La siguiente ecuación semi-empírica se utiliza para calcular los ahorros iniciales en el costo de las bombas.<sup>4</sup>

$$\text{Costos de Bombeo} = \text{US\$}2500 N_p \sqrt{GPM / (3954 N_p \eta_m \eta_p)} \sqrt{\Delta h}$$

Donde  $N_p$  equivale al número de bombas,  $\eta_m$  es la eficiencia del motor,  $\eta_p$  es la eficiencia de la bomba y  $\Delta h$  es el cabezal de bombeo total del sistema expresado en pies (proceso + altura de la torre + pérdidas de la boquilla).

Los ahorros potenciales son más claros con un ejemplo. Supongamos que cuatro torres proveen sendos flujos de 1200 GPM a cuatro torres de 400 ton. Las bombas operan al 80% de eficiencia y son impulsadas por motores de 85% de eficacia. Si el cabezal de bombeo del proceso es 30 pies, el cabezal de bombeo de la competencia es 20 pies, y el cabezal de bombeo de Tower Tech es 10 pies, entonces hay un ahorro potencial inicial de US\$5,000. Los ahorros reales pueden ser mucho más o menos que esta cifra, depende del lugar en el que aterrice el punto de operación de diseño de la línea de bombeo del fabricante.

Si el número de bombas usadas para cada torre es diferente, puede aumentar el costo de bombeo. Por lo general, es más barato usar menor cantidad de bombas más grandes que mayor número de bombas con menos caballos de fuerza. Este diferencial en el costo es calculado y añadido al costo total de la torre.

## Energía de Bombeo

Tower Tech ha minimizado los requerimientos de energía de bombeo por medio de una estrategia de diseño basada en tres importantes realidades, reducción de pérdidas a través de la boquilla, reducción de la altura de la zona de rocío de la boquilla y eliminando de la zona de caída libre de agua sobre el bacín. La Boquilla Rotatoria Aspersora requiere menor cabezal de bombeo para atomizar el flujo ya que la turbina en la boquilla es un dispositivo mucho más eficiente que el aparato atomizador utilizado en una boquilla convencional. También, al adaptar un patrón lateral de distribución, la localización de la boquilla puede ubicarse a solo 7.6cm sobre el relleno de la torre.

Tower Tech volvió a dar justo en el blanco al quitar la zona de caída libre de agua sobre el bacín. Una torre convencional necesita esta zona para permitir que el aire corra al relleno. Por desgracia, desde una perspectiva térmica es una parte ineficiente de la torre de enfriamiento. El enfriamiento logrado en un pie de relleno puede ser mayor que el enfriamiento en diez pies de agua en caída libre. Es una manera no eficaz de usar la energía de bombeo.

Los costos de la energía de bombeo se calculan con las siguientes ecuaciones.

$$HP = GPM \Delta h / 3954 \eta_m \eta_p$$

$$\text{Costos de Energía de Bombeo} = 0.7457 k \text{ hr HP}$$

Donde HP es el total de caballos de fuerza, hr es el número de horas de operación, y k es el costo en dólares por kilowatt-hora. Si una bomba con el 80% de eficiencia impulsada por un motor con el 85% de eficiencia bombea 4800 GPM a través de 15 m de cabezal, se utilizan 89 caballos de fuerza. Si los costos de energía son 3.3 centavos por kilowatt-hora<sup>5</sup> y la bomba está en funcionamiento continuo durante el año, los costos de energía de bombeo son US\$19,300 al año.

Si una torre Tower Tech está como reemplazo de otra torre con bombas al tamaño del mayor cabezal de bombeo que estaba en funcionamiento, quizá sea necesario recortar ó modificar los impulsores de la bomba para comprender dichos ahorros en costo.<sup>6</sup>

## Costos de Tratamiento Químico

El costo asociado al tratamiento adecuado del agua de una torre de enfriamiento debe pesar mucho en la decisión para comprar la torre de un fabricante. Los ahorros potenciales en costos de químicos se presentan en dos áreas principales; reducción en los requerimientos de tratamiento químico y una reducción en el desperdicio químico en rocío y extracción de agua. La reducción en los requerimientos químicos en el diseño de Tower Tech es una consecuencia del bacín cerrado y de auto-limpieza. El resultado es una reducción en algicidas puesto que el agua del bacín no es expuesta al sol. Además, el bacín cerrado reduce importantemente la cantidad de basura y suciedad llevada por el aire a un bacín abierto. La característica de auto-limpieza del bacín de Tower Tech también elimina la acumulación de sedimento, común en las áreas estancadas de la mayoría de las torres. Las bacterias, como Legionella, se protegen de los ataques químicos bajo el sedimento. Un tratamiento químico adicional (y su costo) no remueven la bacteria por completo de manera que es necesario añadir agitadores de bacín y filtros al cálculo del costo de la competencia. El presente análisis no incluye dichos costos.

Se asume que el costo para sustentar los químicos en la torre es proporcional al tonelaje,

$$\text{Costo de Mantenimiento de Químicos} = \text{US\$6 } \eta_{ch} \text{ tonelaje } \frac{\text{\#horas}}{\text{horas de operación anual}}$$

Donde  $\eta_{ch}$  es un factor de corrección que representa el ahorro en costos asociados a una torre Tower Tech. Los ahorros primarios se dan gracias a la reducción en el uso de algicidas y biocidas. Se asume un factor de corrección de 1.0 para la torre de la competencia y 8.0 para la torre Tower Tech. Para una carga de 1600 ton, una torre convencional requiere US\$9,600 dólares al año en químicos. El diseño de Tower Tech genera un ahorro de US\$1,900 dólares anuales.

Debido a que los químicos que se pierden en el rocío y durante la extracción de agua deben ser repuestos, es posible obtener un ahorro adicional si se reducen ambas fuentes de desperdicio. La pérdida de agua por el rocío y la extracción de agua es rastreada mientras se realizan los cálculos detallados de la energía del

ventilador. El costo adicional es sólo el costo devengado por tratar la porción de agua de reposición asociada al reemplazo de rocío y extracción de agua,

$$\text{Costo de Reposición de químicos} = \text{US\$0.004} \times \text{galones de desperdicio}$$

Donde se asume un costo de US\$4.00 por cada 1000 galones de agua de la torre. En la siguiente sección se profundiza sobre la pérdida de rocío.

Mientras que los costos asociados al rocío pueden ser grandes, la pérdida de químicos a través de la extracción de agua puede ser considerablemente mayor. Se logran importantes ahorros en químicos y agua si se corren mayores ciclos de concentración en la torre. Gracias a que el diseño cerrado de Tower Tech es menos sensible a los cambios en las condiciones del medio ambiente, es más fácil mantener los niveles de concentración en la torre. Así, si pueden correrse mayores ciclos de concentración, el resultado es una importante reducción en costos de los químicos. En este análisis asumimos que los ciclos de concentración corridos en la torre Tower Tech son 50 por ciento mayores que los corridos en la torre de la competencia. Como siempre, cualquier plan de tratamiento de agua debe ser probado y mantenido rigurosamente por un consultor en tratamiento de agua.<sup>1</sup> La extracción de agua requerida puede calcularse con<sup>7</sup>

$$\text{Extracción de Agua} = \frac{\text{Evaporación}}{\text{Ciclos} - 1}$$

## Energía de Ventiladores

Los motores de dos velocidades son un medio efectivo y de uso común para ahorrar energía del ventilador. Tower Tech tomó la delantera al usar mayor cantidad de ventiladores de menor perímetro impulsados por motores de una velocidad. Esto hace que el reemplazo del motor sea más barato y el aumento en la cantidad de motores duplica el número de puntos de consigna del ventilador, lo cual permite que la potencia del ventilador se acerque más a igualar los cambios en la carga.

El diseño del Flujo de Agua a través del Bacín<sup>R</sup> totalmente cerrado y de alta velocidad es posible gracias al Sistema de Recolección de Agua<sup>R</sup> patentado sobre los ventiladores. Existe una mayor presión a través de estos recolectores que a través de las rejillas de una torre convencional. En consecuencia, los requerimientos de caballos de fuerza del modelo Tower Tech en condiciones de diseño pueden ser un poco mayores. No obstante, en condiciones no-diseñadas puede haber ahorros importantes de energía si se maneja adecuadamente la distribución de agua a la torre.

Las cargas reducidas y bulbos húmedos bajos durante condiciones de operación en invierno significan muy poco uso de energía. El ahorro real que se logra con el manejo de distribución de agua se da durante las condiciones de primavera y otoño. Durante esas estaciones, los requerimientos de carga continúan relativamente altos, pero una reducción en el bulbo húmedo permite que las torres sean apagadas y/o que algunos ventiladores se pongan fuera de servicio. Durante estas condiciones de carga un poco reducidas, las cuales suman la mayoría de las operaciones del año, se pueden acumular ahorros de energía si se distribuye la velocidad de flujo reducida a las torres disponibles. Distribuir el flujo a un área mayor permite velocidades más bajas de relleno y resulta una reducción en los requerimientos del poder del ventilador. Lo anterior es posible sólo gracias a la Boquilla Rotatoria Aspersora de Flujo Variable<sup>R</sup> de Tower Tech. La boquilla mantiene el mismo patrón de velocidad a medida que varía la velocidad del flujo, lo cual previene una importante degradación en el funcionamiento de la torre. Todo esto permite que el usuario utilice de manera efectiva el relleno que compró para satisfacer el requerimiento de diseño, pero que con frecuencia permanece sin cambio durante la mayor parte del año.<sup>8</sup>

Si se utiliza un controlador de frecuencia variable aumenta el requerimiento de caballos de fuerza en un tres por ciento de la velocidad evaluada de caballos de fuerza a cuenta de pérdidas en el VDF. Por ejemplo, si

una torre con un poder total de 60 caballos de fuerza es puesta en funcionamiento a velocidad media para realizar determinada tarea, entonces la torre atraerá  $30+1.8=31.8$ hp.

## Costos de Agua

Por lo general, el costo del agua asociado a la operación de una torre de enfriamiento no se toma en cuenta. El agua no sólo se necesita para reposición y para reabastecer la extracción de agua y las pérdidas de rocío, sino que el costo de su eliminación debe ser justificado. Se puede usar agua de una fuente natural para abastecer una torre pero pueden acumularse costos adicionales de tratamiento de agua, o necesitarse una reducción en ciclos de concentración y un monitoreo especial del afluente para satisfacer los requerimientos de EPA. Incluso si se cuenta con una fuente gratuita de agua, es poco probable que se elimine totalmente el costo de tratamiento y eliminación del agua de desecho. Si no se cuenta con datos locales exactos se puede utilizar un costo aproximado de cada estado para comprar y eliminar agua.<sup>9</sup>

La evaporación de la torre es analizada a medida que corre el análisis detallado de la energía del ventilador.<sup>10</sup> A este volumen se añade la pérdida por rocío, la cual se compone de pérdidas a través de los eliminadores de rocío y del área de rejillas de la torre de la competencia ó convencionales. Las pérdidas por rocío generalmente son insignificantes si los eliminadores de rocío están en buenas condiciones e instalados de manera adecuada.<sup>11</sup> Las pérdidas en el área de rejillas de la torre de la competencia ó convencionales son comunes pero todavía tienen que ser cuantificadas. Los primeros datos sugieren que hay una reducción en rocío de la torre Tower Tech debido a las bajas velocidades de salida y la eliminación de rocío en el área de rejillas. Para este análisis, la pérdida de rocío de un diseño convencional se toma como diez veces la pérdida del diseño de Tower Tech. Por lo general, dichas pérdidas suman sólo un porcentaje bajo de las pérdidas ocasionadas por la extracción de agua.

El último componente relacionado con el uso de agua es la extracción de agua. Como es costumbre, se asume que la extracción de agua es función de la velocidad de evaporación de la torre.<sup>12</sup> Es común ver ciclos de concentración tan bajos como dos o tres en una torre de tipo convencional. Como se mencionó anteriormente, es posible correr un ciclo más alto en una torre Tower Tech puesto que se controlan con más facilidad las fluctuaciones en la química de la torre. Se asume que el ciclo de la torre Tower Tech es 50% mayor que la torre de la competencia ó convencional.

Si una torre de 400 ton con una velocidad de flujo de 1200 GPM tiene un promedio anual de reposición por evaporación del 0.8%, tiene pérdidas por rocío y por las rejillas, y mantiene cuatro ciclos de concentración, entonces hay un consumo de agua de 9.6 GPM por evaporación, 0.2 GPM por rocío, y 3.2 GPM por extracción de agua. Con un costo de agua de US\$1.50/1000 gal y un costo de eliminación de US\$2.00/1000 gal, el resultado es una cuenta anual de agua de US\$13,600 dólares.

## Pies de Página

<sup>1</sup> Una reducción en el flujo de agua a la torre puede ocasionar una acumulación acelerada de sedimento. Los operadores de la torre deben consultar a un consultor de agua calificado para que evalúe el sistema local de agua y el programa de manejo de calidad del agua planeado para la torre.

<sup>2</sup> Los datos de distribución del bulbo húmedo usados en este análisis de energía fueron generados por un set de datos del *International Station Meteorological Climate Summary, Ver. 3.0*, Federal Climate Complex, Asheville, Marzo, 1995. La mayoría de los datos de las ciudades de Estados Unidos es un promedio de más de 50 años. Sólo hay diez o quince años de datos para algunas de las ciudades en el extranjero. El set típico de datos consiste en un promedio mensual y una desviación estándar el bulbo húmedo para incrementos de tres horas. Estos puntos de datos de ocho meses sobre doce meses se utilizaron para generar el número de horas al año en cada incremento de 80 dos-grados del bulbo húmedo entre  $-40^{\circ}\text{C}$  y

48.8°C. Se asumió una distribución normal de la temperatura del bulbo húmedo para cada uno de los 96 incrementos de tres horas.

- <sup>3</sup> La condición de operación en invierno se define como operación de la torre a un número mínimo constante de celdas, velocidad de flujo y carga. Por lo general se define como operación a temperaturas iguales o menores que 4.4°C
- <sup>4</sup> En esta ecuación y las subsiguientes se asume una gravedad específica de 1.0. La eficacia de la bomba y del motor de la bomba se asume igual para la configuración de la competencia y para la de Tower Tech.
- <sup>5</sup> Si los datos locales exactos no están disponibles se utiliza un costo aproximado de electricidad. Este dato se desprende de *Energy User News*, Vol.21, No.3, Marzo 1996.
- <sup>6</sup> Si una torre con requerimientos de cabezal de bombeo reducidos reemplaza a una torre existente y el impulsor de la bomba no es reajustado pueden presentarse dos escenarios. Si no se ajusta una válvula de control aumenta el flujo hacia la torre. En la porción de alta eficacia en la curva de bombeo, una disminución del 20% en el cabezal de bombeo de la torre apenas igualará a un 20% de incremento en la velocidad de flujo. La torre puede rechazar más calor pero por medio de un rango más bajo. Si el flujo permanecerá constante, debe ajustarse una válvula control. La concurrente pérdida de cabezal que resulta anulará cualquier ahorro potencial.
- <sup>7</sup> Ver: *Betz Handbook of Industrial Water Conditioning*, 9ª Edición, Betz, 1991.
- <sup>8</sup> El funcionamiento de una torre de enfriamiento es conducido principalmente por dos cantidades, la superficie del agua aire-agua y la velocidad relativa entre el aire y el agua (la cual impulsa la velocidad de evaporación). El funcionamiento aumenta poco de manera lineal con el área de relleno y la velocidad de relleno. Sin embargo, el poder del ventilador varía como el tercer poder de velocidad. Cuando el área de relleno aumenta al doble, las velocidades de relleno pueden dividirse a la mitad. El poder necesario para otorgar el mismo funcionamiento disminuye a un octavo en cada celda. Debido a que se necesita el doble de celdas para la operación (para aumentar al doble el área de relleno), el poder total necesario se reduce a un cuarto del valor inicial. Los ahorros reales pueden ser mayores puesto que la carga reducida de agua disminuye la presión a través del relleno.
- <sup>9</sup> *Ernst & Young's 1994 National Water & Wastewater Rate Survey*, Ernst & Young LLP, 1994.
- <sup>10</sup> Esta necesidad de reposición debe ser similar para la competencia y para el diseño de Tower Tech. Pueden verse diferencias en cuanto a variaciones en el enfoque entre los diseños ya que éstos no rastrean la carga de la misma manera. (A medida que el enfoque es reducido, disminuye la fracción de remoción de calor atribuible a la transferencia sensible de calor).
- <sup>11</sup> En este análisis se utilizó un eliminador de rocío tipo Brentwood CDX-150. Existe una pequeña variante en el rocío con velocidad de flujo pero se utilizó una fracción constante de 0.0014% de velocidad de flujo de agua. Ver. *Brentwood Industries, Inc. Drift Eliminator Test T91-52, Volumen I*, Enero 29, 1992.
- <sup>12</sup> Si el agua de reposición por evaporación es analizada pueden lograrse importantes ahorros ya que la pérdida de agua por evaporación no requiere ser tratada como agua residual. Por lo general, es necesario instalar un medidor certificado para cuantificar el uso y se da un crédito al usuario.