

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO EN EL ARRASTRE EN TORRES DE REFRIGERACIÓN

Lucas Miralles, M., Martínez Beltrán, Pedro J., Viedma Robles, A.#

Departamento de Ingeniería de Sistemas Industriales

Universidad Miguel Hernández

Avda. del Ferrocarril, s/n. Edificio "Torreblanca", 03202, Elche (Alicante)

Tel.: 966 658 561, Fax: 966 658 979

e-mail: mlucas@umh.es

Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos

Universidad Politécnica de Cartagena

C/ Dr Fleming, s/n – 30202 Cartagena (Murcia)

Teléfono: 968 325 995 , Fax: 968 325 999

Resumen

Existen diversos aspectos medioambientales relacionados con las torres de refrigeración y, en particular, con el arrastre de torres de refrigeración. El más destacable es el referido a la posibilidad de deteriorar la salud humana. En este sentido, la contaminación por legionella tiene un especial protagonismo. A nivel nacional el RD 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis, limita el valor del agua arrastrada a 0,05% del agua circulante. Sin embargo, no establece el método de medida a emplear para dicha determinación.

En la actualidad existen diversas técnicas y dispositivos para medir el arrastre en torres de refrigeración, dispares en cuanto a sofisticación, principios básicos de funcionamiento y capacidad de medida. No obstante, ninguno de estos métodos ha alcanzado un reconocimiento universal como la mejor técnica de medida del arrastre. Algunos dispositivos tienen carencias evidentes, y muchos de ellos sólo son capaces de ofrecer una información parcial, referente a la población de gotas muestreadas. En este trabajo se presentan resultados experimentales de medida de arrastre con la técnica del balance químico. Con el empleo de la técnica de medida seleccionada se plantea el estudio experimental de la influencia de los parámetros de funcionamiento en el arrastre en torres de refrigeración. Se presentan resultados del funcionamiento de una torre de refrigeración, con y sin separador de gotas, sometida a dos condiciones de giro del ventilador.

Palabras clave: torres de refrigeración, arrastre, separador de gotas, legionella.

1 Introducción

Existen diversos aspectos medioambientales destacables relacionados con las torres de refrigeración y, en particular, con el arrastre de torres de refrigeración. Los trabajos de Aynsley y Carson [2] y de Pedersen et al. [12] describen algunos efectos de la emisión de agua arrastrada que se resumen a continuación:

- 1 Pérdida de un bien escaso, como es el agua, sin realizar la función de enfriamiento para la que se ha ubicado en la torre.
- 2 Posibilidad de generar problemas de corrosión en equipos, conductos y elementos estructurales que rodean la torre.
- 3 Formación de hielo en las zonas cercanas a la instalación en períodos invernales.
- 4 Degradación de cultivos del entorno por deposición de sales.
- 5 Efectos sobre la salud humana debido a la exposición a compuestos, bien químicos, bien biológicos del agua arrastrada.

De todos los aspectos medioambientales glosados, el más destacable es el referido a la posibilidad de deteriorar la salud humana. En este sentido, la contaminación por legionella tiene un especial protagonismo. Sin embargo, antes incluso del descubrimiento de la enfermedad en 1976 ya se habían realizado estudios sobre la posible transmisión de organismos patógenos desde torres de refrigeración, Lewis [8]. Existe una serie de condiciones que deben aparecer para que se produzca una contaminación por legionella asociada al funcionamiento de las torres de refrigeración: debe existir una *vía de penetración* de las bacterias en el circuito de agua de la torre, así como unas condiciones de temperatura, estancamiento y presencia de nutrientes en la instalación que facilite la *multiplicación* de estas bacterias. La siguiente condición es la *dispersión* de las bacterias en el aire en forma de aerosol. Finalmente, es necesario que se produzca la *exposición* de los individuos susceptibles al microorganismo, en una concentración y durante un tiempo suficiente para que puedan contraer la enfermedad. Diversas referencias presentan a las torres de refrigeración como equipos de riesgo de desarrollo y dispersión de la bacteria y causantes del desarrollo de legionelosis. A modo de muestra, se pueden destacar por su significación los trabajos de Cooper et al. [4], Navarro et al. [11] y Sumiyo et al. [14].

El modo más eficaz de controlar el contagio de la enfermedad es actuar en cuantos eslabones de la cadena de transmisión sea posible. Esta redundancia en la seguridad tiene su lógica en prevenir posibles fallos en las medidas de seguridad, de forma que si una no es efectiva existirá otra que evite el contagio, ASHRAE [1]. La legislación española en el ámbito de la legionelosis tiene su origen en el R.D 909/2001 por el que se establecen los criterios



higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis. Esencialmente se centra en combatir la *multiplicación* de la bacteria, a través de acciones en fase de diseño y explotación de los equipos, evitando el estancamiento del agua, la proliferación de nutrientes, trabajar en determinadas condiciones de temperatura o disponer de tratamientos de agua adecuados. En 2003, justificado por un avance en los conocimientos científico-técnicos y la experiencia acumulada, se deroga este Real Decreto y se aprueba el actual R.D. 865/2003. El nuevo Real Decreto mantiene su lucha contra la *multiplicación* de la bacteria. Incluye una clasificación de las instalaciones según su nivel de riesgo, donde las torres de refrigeración aparecen como de mayor riesgo. Otra novedad que incorpora es la referida a la limitación del agua arrastrada al 0,05% del agua circulante. En este sentido, se pretende actuar, además de en la *multiplicación*, en la *dispersión* de las bacterias en el aire, limitando la cantidad de agua arrastrada.

Actualmente existen diversas técnicas y dispositivos para medir el arrastre en torres de refrigeración, dispares en cuanto a sofisticación, principios básicos de funcionamiento y capacidad de medida. No obstante, ninguno de estos métodos ha alcanzado un reconocimiento universal como la mejor técnica de medida del arrastre. Algunos dispositivos tienen carencias evidentes, y muchos de ellos sólo son capaces de ofrecer una información parcial, referente a la población de gotas muestreadas. La referencia más destacable que realiza una revisión de técnicas de medida es de Golay et al. [6]. El actual Real Decreto no define la técnica a emplear en la medida del arrastre por lo que el primer paso a dar será la selección de una técnica de medida.

Entre las diversas técnicas existentes, algunos países han seleccionado una de ellas para tenerlas como referencia. De esta forma, se ha comprobado que en las distintas normas recopiladas se describen diferentes técnicas de medida para cuantificar el arrastre.

Australia: Australian Standard (1994). *AS-4180.1 Drift loss from cooling towers – Laboratory measurement. Part 1: Chloride balance method*. Standards Australia

Reino Unido: British Standard (1988). *BS- 4485. Water cooling towers. Part 2: Methods for performance testing*. British Standards Institution. Thermal Balance

EEUU: Cooling Technology Institute Code. Standard Specifications (1994). *Isokinetic Drift Test Code*. Cooling Technology Institute.

Japón: JIS B 8609 (1981) "Performance tests of mechanical draft cooling towers". Thermal Balance

Teniendo en cuenta que será necesario caracterizar el arrastre desde un punto de vista cuantitativo, midiendo el porcentaje de agua que sale arrastrada respecto de la circulante, se ha considerado que el método mas adecuado es el del balance químico descrito por la

normativa australiana. El método isocinético descrito por el CTI tiene el inconveniente de ser un método directo que, al situar la sonda en distintas localizaciones de la sección de salida, obtiene un valor del arrastre como resultado de la integración de los distintos puntos medidos. Esta metodología de medida hace que fallos puntuales en el separador de gotas o en los acoplamientos pueden no ser detectados y afectar a la medida por el carácter de inferencia que se emplea. Los balance térmicos descritos por la normativa británica y japonesa están recomendados para desarrollarse en recintos con ambientes controlados, en cámaras isotermas, por lo que serán de difícil aplicación en instalaciones reales.

En este trabajo se presentan resultados experimentales de medida de arrastre con la técnica del balance químico. Además de la aplicación de la técnica de medida, se plantea el estudio experimental de la influencia de los parámetros de funcionamiento en el arrastre en torres de refrigeración. En este sentido aparecen como variables más significativas los flujos máscos de agua y aire, dado que modificando éstos, a su vez se modifican otras variables como son las velocidades de circulación de los flujos, y en el caso del agua, la distribución de tamaños de gotas de salida en los rociadores. En el apartado de resultados se muestran medidas de arrastre en una torre de refrigeración, con y sin separador de gotas, sometida a dos condiciones de giro del ventilador.

2 Procedimiento experimental

El método indirecto del balance químico se basa en el hecho de que, si se disuelve un material trazador adecuado en el agua de circulación, cuando ésta se evapora, el soluto no se transportará con el vapor de agua, sino que permanecerá en el caudal de circulación, mientras que aquellas gotas arrastradas por la corriente de aire en estado líquido sí que transportarán una cantidad determinada de soluto. Conociendo la concentración inicial y final de este material trazador en el agua de circulación, la concentración del agua de aporte y el caudal aportado durante el experimento, se puede conocer el caudal de agua que ha sido arrastrado por la corriente de aire en forma de gotas. El método del balance químico, o también denominado método indirecto, tiene su aparición en el trabajo de Campbell [3]. En el mismo, se presentan los balances máscos asociados a la evolución de un trazador en una torre de refrigeración en la que no se considera evaporación. Plantea la ecuación diferencial de conservación de la masa del trazador y calcula la cantidad de agua arrastrada en un intervalo de tiempo conociendo la evolución de la concentración del trazador. Señala que pérdidas no consideradas de agua pueden convertirse en una importante fuente de error en las medidas. Trabajos posteriores de Kessick et al. [7] utilizan este método con distintos trazadores, en concreto, boro y cromo. El empleo de boro como trazador también se encuentra en el trabajo de Culivicchi et al. [5].



Posteriormente Maclaine-cross y Behnia [9] mejoran la precisión de la medida incorporando la cantidad de agua evaporada a las ecuaciones y describiendo una metodología para su resolución. Realizan su trabajo considerando el cloro como trazador, obteniéndolo a partir de la disolución de cloruro sódico. Este trabajo se tomó de referencia para el desarrollo de la norma AS-4180.1 (1994).

2.1 Metodología

El método propuesto requiere de la desconexión de los sistemas de adición de productos químicos, así como de los sistemas de purga. Tras un período de puesta en marcha, el ensayo comienza con la toma de una muestra de agua. En todo instante se registran los datos de condiciones ambientales (temperatura seca, humedad relativa, velocidad y dirección de viento) y de las variables relacionadas con el agua (temperatura y caudal). Justo antes de la adición del trazador se vuelve a tomar una segunda muestra de agua. Posteriormente se diluye una cantidad conocida de trazador, en este caso cloruro sódico, y se vierte al interior de la torre y a continuación se toma una tercera muestra de agua. El ensayo acaba con la toma de la cuarta muestra de agua manteniendo como criterio que el tiempo entre la tercera y cuarta muestra es del orden del doble del que ha pasado entre la primera y segunda tomas.

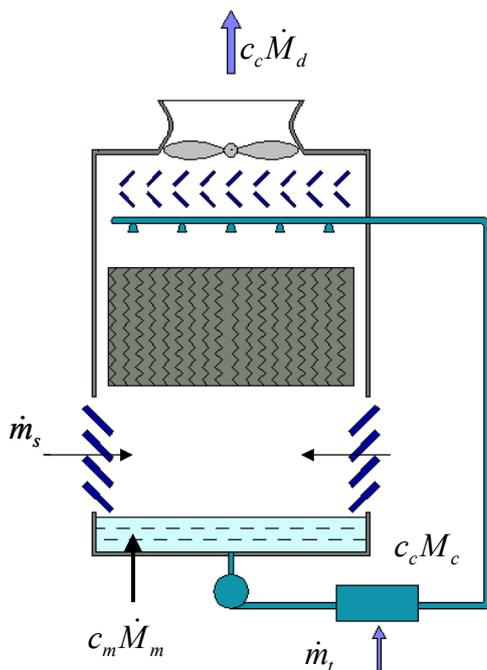


Figura 1 Esquema del método del balance químico

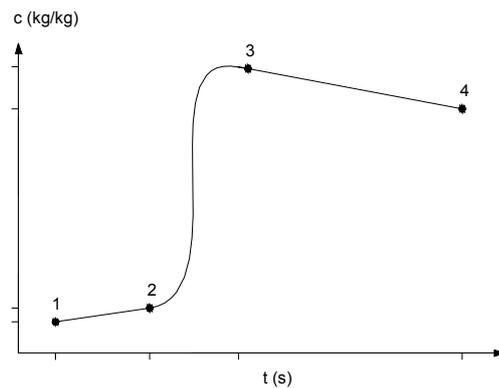


Figura 2. Evolución de la concentración a lo largo del ensayo

Aplicando el principio de conservación de masa, la variación en la masa presente en una torre de refrigeración, dM_c / dt , es igual al flujo másico de agua de aporte, \dot{M}_m , menos el agua arrastrada, \dot{M}_d , y el agua evaporada, \dot{M}_e .

$$\frac{dM_c}{dt} = \dot{M}_m - \dot{M}_d - \dot{M}_e \quad (1)$$

La masa de agua circulante se puede utilizar para calcular la cantidad de trazador presente, $c_c M_c$. Aplicando el principio de conservación de masa al trazador, la variación en la masa del trazador, $dc_c M_c / dt$, será igual a la suma del trazador añadido por el responsable del ensayo, \dot{m}_t , el proveniente de los alrededores, \dot{m}_s , y el que llega con el agua de aporte, $c_m \dot{M}_m$, menos el que sale con el agua arrastrada, $c_c \dot{M}_d$. Esto se puede expresar como:

$$\frac{dc_c M_c}{dt} = \dot{m}_t + \dot{m}_s + c_m \dot{M}_m - c_c \dot{M}_d \quad (2)$$

Sustituyendo la ecuación (2) en la (1) y reordenando los términos,

$$M_c \frac{dc_c}{dt} = \dot{m}_t + \dot{m}_s + c_m \dot{M}_m + (c_m - c_c) \left(\dot{M}_d + \frac{dM_c}{dt} \right) \quad (3)$$

Llegar hasta la ecuación (3) no ha requerido asumir ninguna simplificación, únicamente se ha empleado la conservación de la masa de agua circulante en el sistema y del trazador, considerando todos los términos presentes. Si fuera posible medir las derivadas y los flujos de la ecuación (3) la medida del agua arrastra podría obtenerse resolviendo ésta en un instante. Sin embargo, las derivadas y los flujos no son fácilmente medibles por lo que ha sido necesario plantear una metodología para calcular la evolución de la concentración del trazador en distintos periodos de tiempo. Además, se consideran las siguientes simplificaciones propuestas por Maclaine-cross y Behnia [9] en su trabajo:

- 1) Las pérdidas de agua por arrastre, \dot{M}_d , son constantes a lo largo del ensayo.
- 2) La cantidad de trazador que aporta el aire de entrada al agua circulante, \dot{m}_s , se produce a ritmo constante.
- 3) La concentración de trazador en el agua de aporte, c_m , es constante.
- 4) La variación de la cantidad de agua presente, $\frac{dM_c}{dt}$, es despreciable.
- 5) La evolución de la concentración del trazador durante lineal los periodos de medida.



La ecuación (3) puede integrarse con respecto al tiempo para cada uno de los tres períodos de tiempo del ensayo, dando:

$$M_c \frac{(c_{c2} - c_{c1})}{(t_2 - t_1)} = \dot{m}_s + c_m \dot{M}_{e12} + (c_m - \frac{c_{c2} + c_{c1}}{2}) \dot{M}_d \quad (4)$$

$$M_c \frac{(c_{c3} - c_{c2})}{(t_3 - t_2)} = \dot{m}_s + c_m \dot{M}_{e23} + (c_m - c_{c3}) \dot{M}_d + \frac{\dot{m}_t}{t_3 - t_2} \quad (5)$$

$$M_c \frac{(c_{c4} - c_{c3})}{(t_4 - t_3)} = \dot{m}_s + c_m \dot{M}_{e34} + (c_m - \frac{c_{c3} + c_{c4}}{2}) \dot{M}_d \quad (6)$$

donde \dot{M}_{e12} , \dot{M}_{e23} y \dot{M}_{e34} son los niveles de evaporación promedios en cada uno de los intervalos definidos por los subíndices.

Restando de la ecuación (6) la ecuación (5) y reordenando términos se llega a la siguiente expresión para el cálculo de la masa de agua circulante,

$$\dot{M}_d = \frac{\dot{m}_t + (t_3 - t_2)(c_m(\dot{M}_{e23} - \dot{M}_{e34}) - \dot{M}_d \frac{c_{c3} - c_{c4}}{2})}{c_{c3} - c_{c2} + (c_{c3} - c_{c4}) \frac{(t_3 - t_2)}{(t_4 - t_3)}} \quad (7)$$

Restando de la ecuación (6) la ecuación (4) multiplicada por $\dot{M}_{e34} / \dot{M}_{e12}$ y reordenando los términos,

$$\dot{M}_d = 2M_c \frac{\frac{c_{c3} - c_{c4}}{t_4 - t_3} + \frac{c_{c2} - c_{c1}}{t_2 - t_1} \frac{\dot{M}_{e34}}{\dot{M}_{e12}}}{c_{c3} + c_{c4} - (c_{c2} + c_{c1}) \frac{\dot{M}_{e34}}{\dot{M}_{e12}} - e_d} \quad (8)$$

donde $e_d = 2(\frac{\dot{m}_s}{\dot{M}_d} + c_m)(1 - \frac{\dot{M}_{e34}}{\dot{M}_{e21}})$. Las ecuaciones (7) y (8) tienen términos que contienen la concentración del agua de aporte, c_m . Adicionalmente se puede asumir que,

6) $(t_3 - t_2)(c_m(\dot{M}_{e23} - \dot{M}_{e34}) - \dot{M}_d \frac{c_{c3} - c_{c4}}{2})$ es obvia. Esto es menor 0,03% del \dot{m}_t .

7) $(\frac{\dot{m}_s}{\dot{M}_d} + c_m)(1 - \frac{\dot{M}_{e34}}{\dot{M}_{e21}})$ es obvia. Esto es habitualmente menor del 1% de c_{c3} .

Con las anteriores simplificaciones se llega a las ecuaciones que se emplean para calcular la cantidad de agua presente, así como el agua arrastrada:

$$M_c = \frac{m_t}{c_{c3} - c_{c2} + (c_{c3} - c_{c4}) \frac{(t_3 - t_2)}{(t_4 - t_3)}} \tag{9}$$

$$\dot{M}_d = 2M_c \frac{\frac{c_{c3} - c_{c4}}{t_4 - t_3} + \frac{c_{c2} - c_{c1}}{t_2 - t_1} \frac{\dot{M}_{e34}}{\dot{M}_{e12}}}{c_{c3} + c_{c4} - (c_{c2} + c_{c1}) \frac{\dot{M}_{e34}}{\dot{M}_{e12}}} \tag{10}$$

La propuesta de los autores de la norma para calcular la relación entre la cantidad de agua evaporada entre el primer y último intervalo de medida es considerar que es proporcional a la diferencia entre la temperatura de bulbo húmedo y la temperatura del agua. Esta diferencia recoge el concepto de entalpía potencial habitualmente empleado en la modelización del enfriamiento evaporativo.

2.2 Instalación experimental

Con el propósito de cumplir con los objetivos marcados para este trabajo se ha construido una planta piloto para el ensayo de torres de refrigeración, tanto desde un punto de vista del comportamiento térmico, como de la caracterización del arrastre. Así, la torre de refrigeración que se ha utilizado es de tiro forzado, con una potencia nominal de 30 kW, unas dimensiones de 653x525x2597 mm, el sistema de distribución del agua es a presión por rociadores, el relleno es tipo panal de abeja y se ha ensayado con y sin separador de gotas.

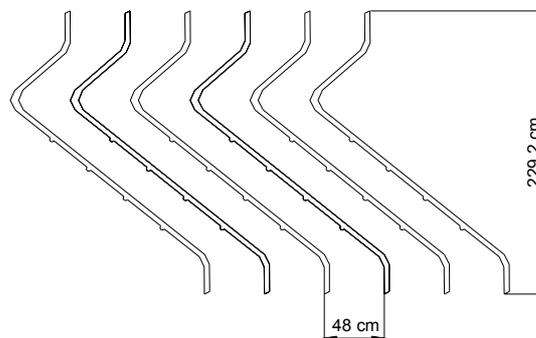


Figura 3 Fotografía de la planta piloto

Figura 4 Sección del separador de gotas



En la figura se muestra una fotografía de la instalación situada en la cubierta del Edificio Torrepinet, en el campus de Elche de la Universidad Miguel Hernández y una sección del separador de gotas empleado. La planta piloto dispone de un variador de frecuencia para modificar la velocidad de giro del ventilador. Para regular el caudal de agua se ha instalado una válvula de equilibrado. En lo que respecta a las medidas, se ha dotado a la instalación de los sensores necesarios para realizar los ensayos. No sólo los referidos a la medida del arrastre, sino también se está en disposición de analizar el comportamiento térmico de la torre, por ejemplo, a través del cálculo de la curva característica (KaV/L , L/G) de la misma. La siguiente tabla muestra un resumen de los sensores instalados.

<i>Variable a medir</i>	<i>Tipo de sensor utilizado</i>
Temperatura Ambiente	Sonda Capacitiva
Humedad Ambiente	Sonda Capacitiva
Velocidad del Viento	Anemómetro de cazoletas
Temperatura del aire a la salida de la torre	Sonda Capacitiva
Humedad del aire a la salida de la torre	Sonda Capacitiva
Velocidad del aire a la salida de la torre	Anemómetro de Molinete
Temperatura de entrada y salida del agua de torre	RTDs PT 100
Caudal de agua enfriada	Caudalímetro de ruedas ovaladas
Intensidad de alimentación del ventilador	Pinza amperimétrica
Tensión de alimentación del ventilador	Multímetro
Concentración de NaCl	Sonda conductividad

Tabla 1 Variables medidas en la planta piloto

3 Resultados

El cálculo del agua arrastrada en la planta piloto se ha realizado para el caso en que la torre trabaja con y sin separador de gotas y para 50 y 25 Hz de alimentación al ventilador. El desarrollo de los ensayos se ha planteado de manera que se han mantenido los tiempos de duración de las distintas fases, así como la cantidad de NaCl disuelta (3293 gr). El inicio del ensayo comienza con una puesta en marcha que dura aproximadamente unos 30 min. a partir de los cuales se toma la primera muestra dando por iniciado el período de media. La tabla siguiente muestra los resultados obtenidos para el caso en el que el separador de gotas estaba instalado y la alimentación al motor del ventilador se realiza a 50 Hz. El caudal

de agua circulante se fijó en unos 3950 l/hr ajustándolo con la válvula de equilibrado instalada en la tubería de entrada a la torre.

Muestra	Hora	Concentración (g NaCl/kg H ₂ O)	Temperatura (°C)		
			Temperatura seca	Temperatura húmeda	Temperatura agua
1	10:06	0,91	20,8	15,7	16,7
	10:36		21,5	15,9	16,9
2	11:06	0,98	22,6	16,1	17,1
	11:21		23,3	15,6	17,2
3	12:21	32,34	22,9	15,9	17,2
4	13:21	30,73	23,7	15,6	17,1

Tabla 2 Datos obtenidos durante el ensayo (Con separador de gotas y 50 Hz)

La metodología descrita por la norma AS 4180-1 exclusivamente requiere la medida de las temperaturas en los instante en que se toman las muestras de agua y a mitad de cada uno de los períodos inicial y final. Sin embargo, el sistema de adquisición de datos instalado permite registrar los mismos a lo largo del tiempo con lecturas cada 10 segundos. La siguiente figura muestra la evolución de la temperatura ambiente y de la humedad relativa a lo largo del ensayo.

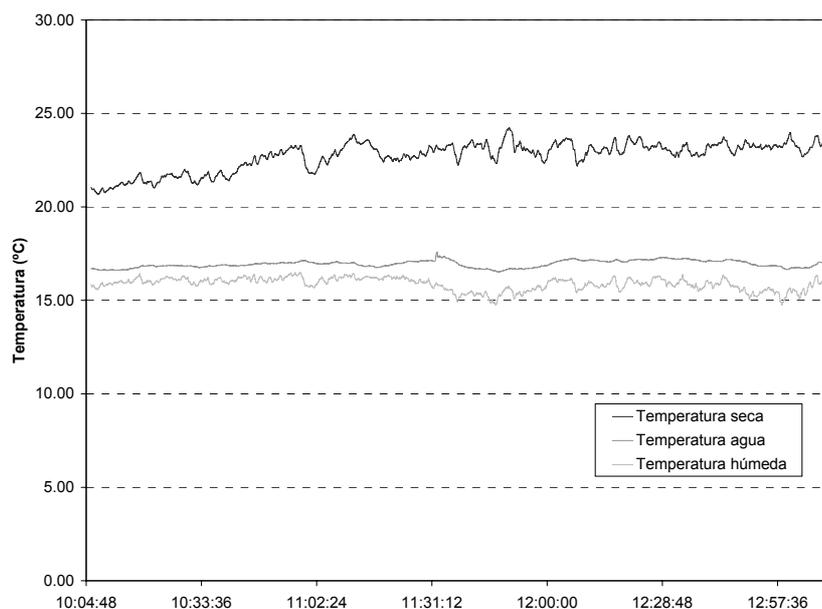


Figura 5 Evolución de las temperaturas durante el ensayo (Con separador de gotas y 50 Hz)



A la vista de las medidas realizadas y empleando la formulación descrita en el apartado de metodología, los resultados obtenidos para el caso descrito son:

Cantidad de agua presente: $M_c = 104,33$ kg

Cantidad de agua arrastrada: $M_d = 10,01$ kg

Flujo másico de agua arrastrada: $\dot{M}_d = 0,00086$ kg/s

Porcentaje de Arrastre: $Arrastre = 0,078\%$

Siguiendo el mismo procedimiento de ensayo, se realizaron el resto de medidas propuestas. La siguiente figura muestra la evolución de la concentración de cloruro sódico para los cuatro ensayos realizados.

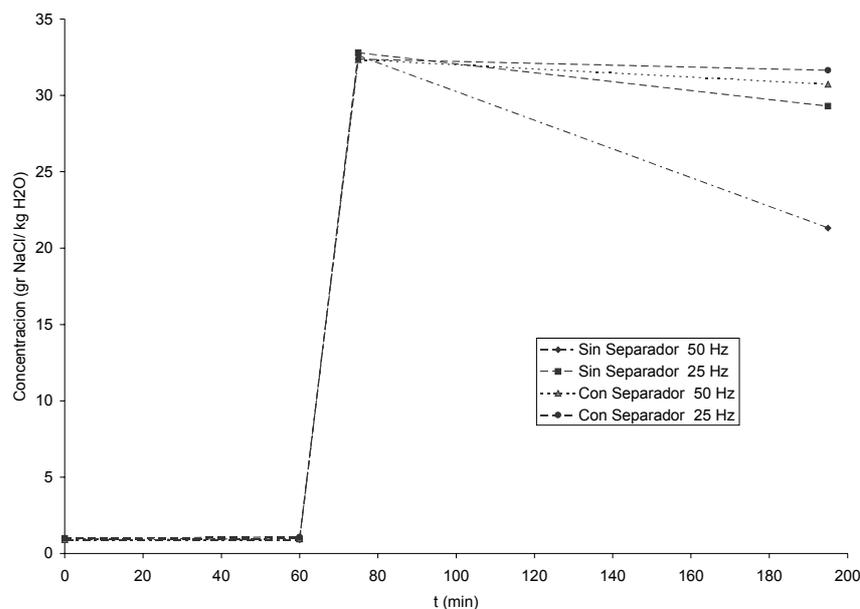


Figura 6 Evolución de la concentración de NaCl durante los ensayos

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos en todas las situaciones medidas:

	Cantidad de agua arrastrada (kg)	Porcentaje de Arrastre (%)
Sin separador 50 Hz	70,89	0,5528
Sin separador 25 Hz	18,93	0,1476
Con separador 50 Hz	10,01	0,078
Con separador 25 Hz	4,82	0,037

Como era de esperar la cantidad de agua arrastrada se reduce significativamente con el empleo del separador de gotas. Sin embargo, en condiciones nominales de funcionamiento (50 Hz) el agua arrastrada, incluso con la instalación del separador de gotas, es superior al valor máximo que marca la normativa. El hecho de reducir la velocidad de giro del ventilador también reduce la cantidad de agua arrastrada. En este sentido habrá que evaluar como afecta la modificación de la velocidad de giro del ventilador en el comportamiento térmico de la torre.

4 Conclusiones

En el presente trabajo se ha mostrado que la técnica del balance químico es adecuada para la medida del arrastre en torres de refrigeración. Se ha empleado en una torre de refrigeración en distintas condiciones de funcionamiento e incluyendo, o no, el separador de gotas. Los resultados obtenidos responden al comportamiento esperado. A la vista de la reducción obtenida en el arrastre al reducir la velocidad de giro del ventilador es necesario determinar la influencia que tiene esta modificación en el comportamiento térmico del equipo. De esta manera se puede valorar la posibilidad de ajustar la velocidad de giro en función de las condiciones ambientales reinantes, no sólo desde un punto de vista de eficiencia energética, sino también, asumiendo la premisa de que cuanto menor cantidad de agua arrastrada menor impacto ambiental tiene la torre.

Atendiendo a los datos recogidos en distintas referencias como en Golay et al. [6] o Missimer et al. [10] donde se muestra que los resultados obtenidos con distintas técnicas de medida no siempre son comparables, es necesario que la administración defina el método de medida a emplear para la determinación del arrastre en torres de refrigeración. Otra de las cuestiones a definir por la normativa española es el hecho de que la cantidad de agua arrastrada puede modificarse según las condiciones de funcionamiento del equipo o según el estado de sus componentes. Se considera necesario definir las condiciones en las que se va a realizar la medida. Una posibilidad es que los fabricantes certifiquen sus equipos en condiciones de funcionamiento nominales antes de su instalación. Posteriormente se realizarán medidas en campo sobre las instalaciones con objeto de comprobar que siguen cumpliendo con la normativa. Con la idea de partida de que la cantidad de agua arrastrada depende de las condiciones de funcionamiento del equipo, en este trabajo se ha estudiado la influencia que tiene la velocidad de giro del ventilador en el arrastre.

Además de las variables de funcionamiento, otros aspectos a considerar son los constructivos. En este sentido será importante conocer el comportamiento de los equipos con distintos tipo de separadores de gotas, sistemas de distribución de agua o rellenos. Este es un trabajo que se está desarrollando en la actualidad por los autores de esta publicación.



Además, desde la perspectiva de la dispersión de las gotas y el posible alcance que tendría una torre a la hora de emitir agua contaminada con la bacteria legionella es interesante caracterizar los tamaños de gota. La técnica del balance químico no es adecuada para caracterizar tamaños de gota, por lo que será necesario utilizar otra técnica que sí lo haga. El empleo de técnicas de media con capacidad de medir el tamaño arrastrado ha sido descrito en trabajos como el de Solano et al. [13].

5 Referencias

- [1] ASHRAE Guidelines 12-2000. *Minimizing the risk of legionellosis associated with building water systems.*
- [2] Aynsley, E. y Carson, J.E. (1973). *Atmospheric effects of water cooling facilities.* Cooling Tower Institute. (Technical Paper TP-107B)
- [3] Campbell, J.C. (1969). A review of CTI work on the measurement of cooling tower drift loss. Cooling Tower Institute.
- [4] Cooper, A.J., Barnes, H.R. y Myers, E.R. (2004) *Assesing risk of legionella.* Ashrae Journal Vol, 46 n° 4. pp 22-27.
- [5] Culivicchi, G., Lenzi, A., Perini, R. y Tarquini, B. (2000) *Cooling tower drift measurement using intrinsic tracer H₃BO₃.* Proceedings world geothermal congress 2000.
- [6] Golay, M.W., Glantschnig, W.J. y Best, F.R. (1986). *Comparison of methods for measurement of cooling tower drift.* Atmospheric Environment. Vol, 20 n° 2. pp 269-291.
- [7] Kessick, M.A., Pipes, D.M. y Matson, J.V. (1975). *A simple drift measurement technique for industrial cooling towers.* Environmental letters. Vol, 8 n° 4. pp 353-360.
- [8] Lewis, B.G. (1974). *On the question of airborne transmission of pathogenic organisms in cooling tower drift.* Cooling Tower Institute. (Technical Paper- T-124A)
- [9] Maclaine-cross, I.L. y Behnia, M. (1992). *Measurement of drift loss from cooling towers.* ASHRAE transactions. Vol 100, part 1. pp 131-139.
- [10] Missimer J.R., David P.E., Wheeler E., Hennon K.W., (1997). The Relationship Between SP and HGBIK Drift Measurement Results - New Data Creates a Need for a Second Look. Cooling Technology Institute (Technical Paper- T-98-16)

-
- [11] Navarro, C. et al. (2001). *Update on the outbreak of legionnaires' diseases in Murcia Spain*. Eurosurveillance Weekly. 5(21).
- [12] Pedersen, G.C., Lamkin, V.K. y Seich, M. (1987). *An economical solution to cooling tower drift*. Cooling Tower Institute. (Technical Paper- T-87-08)
- [13] Solano, J. P., Lucas, M., Martínez, P.J., Viedma, A. (2003). *Aplicación de la técnica del papel hidrosensible a la medida del arrastre en torres de refrigeración*. II CYTEF 2003 Vigo.
- [14] Sumiyo, I., Miyamoto, H., Hori, H., Tanak, I. y Yoshida, S. (2001). *Sampling and detection of legionella pneumophila aerosols generated from industrial cooling tower*. Ann. Occup. Hyg., Vol. 45, nº 6, pp. 421-42.