



El equipo TC 02.1, muestra un método de enfriamiento de agua habitual en la industria. Este método consiste en enfriar el agua caliente hasta la temperatura ambiente.

Para ello, se introduce aire a temperatura ambiente por la parte inferior de la torre mediante un ventilador, mientras pulverizamos el agua caliente por la parte superior de dicha torre.

El agua se va enfriando durante la bajada por la torre, y después se vuelve a calentar y comienza el proceso de nuevo.

El tanque de agua dispone de un alimentador calibrado, que permite saber exactamente cuanta agua se ha evaporado durante el proceso.

El equipo se suministra con ordenador con el software de trabajo instalado. El software permite el ajuste del caudal de aire y del agua a través de dos PIDs, a la vez que en pantalla se muestran las temperaturas y humedades en los puntos estratégicos del sistema, y mediante un botón, todos los datos relevantes se van guardando en una tabla.

En el ordenador (INCLUIDO) se selecciona la torre elegida, y el software muestra los datos junto con un diagrama de la misma, de modo que la comprensión del fenómeno se maximiza.

El software dispone también de un sistema de calibración automático.

Potencia disipada  Kcal/h

Salto térmico  °C

Caudal aire  m<sup>3</sup>/h

Caudal agua  l/min

Pérdida de carga  Pa

Tª SECA	27,8 °C	Hr	97 %	Tª AGUA	
Tª HUM.	27,4 °C				
Tª SECA	28,4 °C	Hr	92 %	Tª AGUA	33,0 °C
Tª HUM.	27,4 °C				
Tª SECA	28,1 °C	Hr	90 %	Tª AGUA	30,8 °C
Tª HUM.	26,8 °C				
Tª SECA	25,9 °C	Hr	98 %	Tª AGUA	28,7 °C
Tª HUM.	25,7 °C				
Tª SECA	23,4 °C	Hr	97 %	Tª AGUA	26,7 °C
Tª HUM.	23,1 °C				
Tª SECA	23,7 °C	Hr	85 %	Tª AGUA	25,9 °C
Tª HUM.	21,9 °C				

Caudal agua  l/min

Caudal aire  m<sup>3</sup>/h

El equipo incluye un PC con el software de manejo del equipo. En el mismo se muestran los parámetros de todos los puntos de control del equipo, y se permite la recogida de datos en modo automático o manual.

El software dispone de un modo de trabajo específico para cada tipo de torre de enfriamiento.

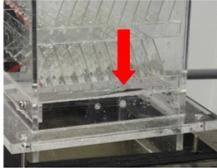




## TC 02.1 TORRE DE REFRIGERACION POR AGUA

### 5. INSTALACION Y MONTAJE

- Colocar el equipo base en una mesa cercana a una toma de corriente en una instalación donde exista buena circulación de aire.
- Para colocar la torre de enfriamiento sobre el equipo base deberemos encajarla suavemente en los 4 tornillos verticales



- Después colocaremos las tuercas moleteadas en los tornillos apretándolas con la mano.



13



## TC 02.1 TORRE DE REFRIGERACION POR AGUA

- De la misma manera fijaremos la tapa de salida de aire a la torre de enfriamiento que vayamos a utilizar encajando los tornillos de la primera en los agujeros de la segunda y apretando nuevamente las tuercas con la mano.



- A continuación realizaremos la conexión de los sensores de temperatura entre las tomas de la torre y la caja de electrónica (Véase apartado "Anexos").
- También deberemos conectar las tomas de presión P1, P2 y P3 mediante los tubos suministrados. Con las dos primeras leemos la pérdida de carga del aire y con P3 obtenemos el caudal, el procedimiento de conexión de los enchufes rápidos es el siguiente:

#### CONECTAR

Para conectar los tubos a las tomas de presión, simplemente empujar los tubos dentro de las mismas hasta que hagan tope.



#### DESCONECTAR

Para su desconexión, utilizar ambas manos. Con una presionar hacia adentro la anilla negra de la toma manométrica que rodea al tubo de conexión, y con la otra tirar de éste último.



14

El manual de usuario muestra claramente y con gran cantidad de imágenes, todo el proceso a seguir para el manejo del equipo.



## TC 02.1 TORRE DE REFRIGERACION POR AGUA

### 1.2. CÁLCULO DE LA HUMEDAD RELATIVA

Se calculará según la siguiente expresión:

$$HR(\%) = \frac{(0.6107 \cdot (1 + 1.4142 \cdot \text{sen}(TH))^{0.814}) - 0.066 \cdot (TS - TH)}{(0.6107 \cdot (1 + 1.4142 \cdot \text{sen}(TS))^{0.814})} \cdot 100$$

Obténida a partir de:

#### C. Ecuación psicrométrica

La ecuación del psicrometro se aplica para calcular la tensión de vapor actual a partir de los datos de temperatura húmeda y seca que da el psicrometro (ver Unidad 2).

$$e_a = e^*(T_a) - \gamma \cdot (T_a - T_s)$$

donde:

$e^*(T_a)$  = tensión de vapor saturante a la temperatura húmeda.

$$e^*(T_a) = 0.6107 \cdot \left[ 1 + \frac{17.62}{T_a} \right]^{19.4623}$$

$\gamma$  = constante psicrométrica (kPa K<sup>-1</sup>), definida por la relación:

$$\gamma = \frac{P_s \cdot C_p}{0.622 \cdot \lambda}$$

donde:  $P_s$  = presión atmosférica (kPa),  $C_p$  = calor específico del aire (J kg<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>),  $\lambda$  = calor latente de vaporización (kJ kg<sup>-1</sup>).

El valor de  $\gamma$  a una temperatura de 20°C y a nivel del mar es:

$$\gamma = \frac{(1013.25 \cdot 1000) \cdot 1.005}{0.622 \cdot 2500} = 0.0066 \text{ kPa K}^{-1}$$

Para calcular  $e_a$  con la ecuación psicrométrica, se parte de los datos de temperatura seca y húmeda. Por ejemplo, para  $T_a = 30^\circ\text{C}$  y  $T_s = 20^\circ\text{C}$ , se debe primero la tensión de vapor saturante a la temperatura húmeda:

$$e^*(T_a) = 0.6107 \cdot \left[ 1 + \frac{17.62}{30} \right]^{19.4623} = 2.364 \text{ kPa}$$

siendo la tensión de vapor actual:

$$e_a = 2.36 - 0.0066 \cdot (30 - 20) = 1.74 \text{ kPa}$$

Para calcular la humedad relativa, se calcula la tensión de vapor saturante a la temperatura seca:

$$e^*(T_s) = 0.6107 \cdot \left[ 1 + \frac{17.62}{20} \right]^{19.4623} = 4.24 \text{ kPa}$$

siendo la humedad relativa del aire:

$$HR = \frac{e_a}{e^*(T_s)} \cdot 100 = \frac{1.74}{4.24} \cdot 100 = 40\%$$

Fuente: M.M González-Real y A.Balleja. Área de Ing. Agroforestal. Universidad Politécnica de Cartagena. España

4



## TC 02.1 TORRE DE REFRIGERACION POR AGUA

### 1.3. CÁLCULO DEL CAUDALES

#### 1.3.1. CAUDAL DE AIRE.

Para determinar el caudal de aire que circula por la torre, utilizamos el estrechamiento que hay en la parte superior de la misma como diafragma, de tal forma que midiendo la presión aguas arriba, y previa calibración con un tubo de altal, conocemos el caudal de aire que sale de la torre. La ecuación del cálculo del caudal es la siguiente:

La expresión general del diafragma es:

$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h}$$

que en nuestro caso particular y para las unidades especificadas queda como:

$$Q \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = 25.25 \cdot \sqrt{\text{Presión}(\text{Pa})}$$

#### 1.3.2. CÁLCULO DEL CAUDAL DE AGUA.

Se determina directamente de la lectura de un sensor electrónico de caudal.



## TC 02.1 TORRE DE REFRIGERACION POR AGUA

### 1.4. CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CARGA.

La pérdida de carga se determina como la diferencia de presiones leída por un transductor de presión diferencial entre las tomas p1 y p2. Las unidades utilizadas son Pascales.

#### 1.5. SALTO TÉRMICO.

Diferencia entre la temperatura del agua a la entrada de la torre por la parte superior y la temperatura del agua cuando sale de la torre por su base.

#### 1.6. POTENCIA CALORÍFICA DISIPADA.

Cantidad de calor que una torre puede disipar Kcal/h.

$$Q = mc\Delta T$$

En nuestro caso tomamos como densidad del agua 1000 kg/m<sup>3</sup> para obtener el caudal máscico a partir del caudal volumétrico y el calor específico del agua lo tomamos como 1 cal/g K siendo el salto térmico el incremento de temperatura.

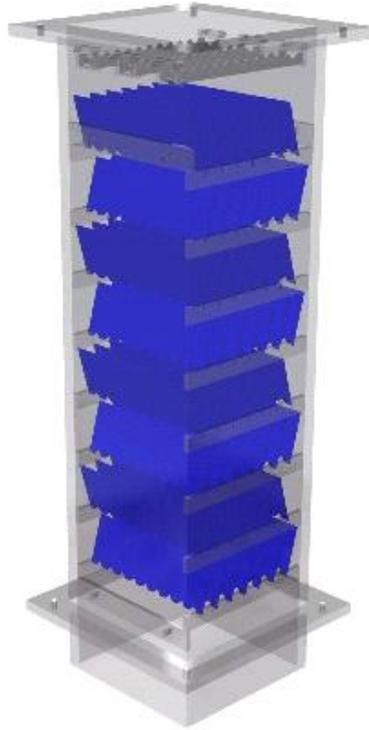
6

El manual de prácticas muestra y desarrolla todos los fundamentos teóricos, así como las fórmulas matemáticas utilizadas para la realización de toda la experimentación.



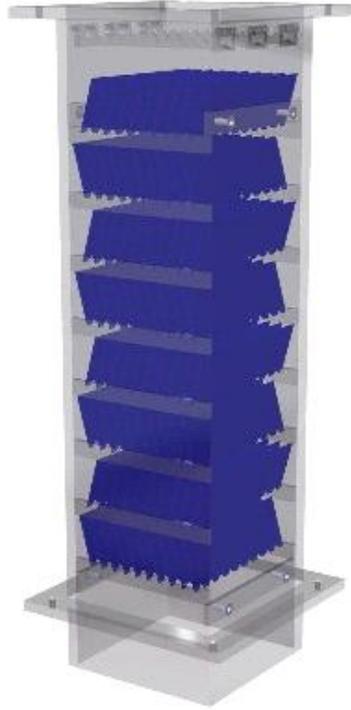
Accesorio Opcional: TC 02.2 - TORRE DE ENFRIAMIENTO TIPO A  
Torre diseñada para trabajar sobre (requerido): TC 02.1 TORRE DE ENFRIAMIENTO DE AGUA

La torre tipo A TC 02.2, se presenta como un torre vacía sin superficies de humectación.  
El usuario puede diseñar sus propias instalaciones personalizadas.



Accesorio Opcional: TC 02.3 - TORRE DE ENFRIAMIENTO TIPO B  
Torre diseñada para trabajar sobre (requerido): TC 02.1 TORRE DE ENFRIAMIENTO DE AGUA

La torre tipo B TC 02.3, se presenta como una torre de 8 niveles y 7 paneles por nivel.  
80 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>.



Accesorio Opcional: TC 02.4 - TORRE DE ENFRIAMIENTO TIPO C  
Torre diseñada para trabajar sobre (requerido): TC 02.1 TORRE DE ENFRIAMIENTO DE AGUA

La torre tipo C TC 02.4, se presenta como una torre de 8 niveles y 10 paneles por nivel.  
115 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>.



Accesorio Opcional: TC 02.5 - TORRE DE ENFRIAMIENTO TIPO D  
Torre diseñada para trabajar sobre (requerido): TC 02.1 TORRE DE ENFRIAMIENTO DE AGUA

La torre tipo D TC 02.5, se presenta como una torre de 8 niveles y 19 paneles por nivel.  
216 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>.



Accesorio Opcional: TC 02.6 - TORRE DE ENFRIAMIENTO TIPO E  
Torre diseñada para trabajar sobre (requerido): TC 02.1 TORRE DE ENFRIAMIENTO DE AGUA

La torre tipo E TC 02.6, se presenta como una torre de 8 niveles y 19 paneles por nivel, con sensores de temperatura en 3 puntos.

Los sensores son:

- 7 sensores de temperatura de bulbo seco.
- 7 sensores de temperatura de bulbo húmedo.
- 3 sensores de temperatura de agua.

**PRÁCTICAS REALIZABLES**

- Fundamentos termodinámicos de la torre de enfriamiento.
- Medición del flujo de aire, de las temperaturas del aire y agua y de la humedad del aire.
- Cambios de estado del aire en un diagrama h-x.
- Determinación de la potencia de enfriamiento.
- Balances energéticos.
- Cálculo de parámetros de proceso como distancia límite de enfriamiento, anchura de la zona de enfriamiento, etc.

**DATOS TÉCNICOS**

- Sección transversal: 150x150 mm.
- Medición del caudal de aire mediante orificio calibrado de Ø80mm.
- Calentador ajustable en escalones de 3 etapas: 0,5kW, 1kW y 1,5kW.
- Tª máxima del agua caliente: 60°C.
- Ventilador centrífugo:
  - Potencia absorbida: 90W.
  - Caudal de aire máximo: 510m<sup>3</sup>/h.
- Bomba periférica:
  - Caudal máximo: 10 l/min (5 m.c.a.)
  - Potencia absorbida: 180W.
- Circuito de agua caliente con Bypass.
- Regulación electrónica del caudal del agua caliente y del caudal de aire mediante el sistema informático.
- El equipo se suministra con un sistema electrónico e informatizado de control y representación, que incluye ordenador.

**REQUERIMIENTOS**

- Alimentación eléctrica: 230 V / 50-60 Hz
- Agua corriente de red.
- El equipo requiere al menos una de las torres de enfriamiento para funcionar.