Integración III

Torre de enfriamiento

Limitaciones y alcances:

Lo aquí presentado es una simplifcación del fenómeno cuyos detalles serán considerados en la cátedra “Operaciones Unitarias 2”. En principio se aplicarán los conceptos vertidos en el tema Higrometría para el estudio de las condiciones del aire húmedo que ingresan y egresan de la torre sin entrar en detalles de diseño.

Conceptualmente una torre de enfriamiento es un equipo que acondiciona térmicamente a una corriente de agua que fluye en un circuito compuesto de equipos que le entregan calor (equipos a refrigerar como reactores, compresores, condensadores, etc) y la propia torre que la enfria. Adicionalmente tendremos equipos adicionales como bombas de circulación, inyectores de productos químicos, etc. Debido a que el agua está en circuito cerrado se agregan productos químicos para evitar la formación de algas u otros organismos, incrustaciones, se ajusta el ph, etc. Además, debido a la sempiterna presencia de sales la concentración de estas tiende a aumentar por los que se acumularían para lo que se dispone de una purga correspondiente.

Si bien una torres real tiene varias etapas de equilibrio en esta cátedra asumiremos sólo una por lo que las temperaturas de salida serán iguales.

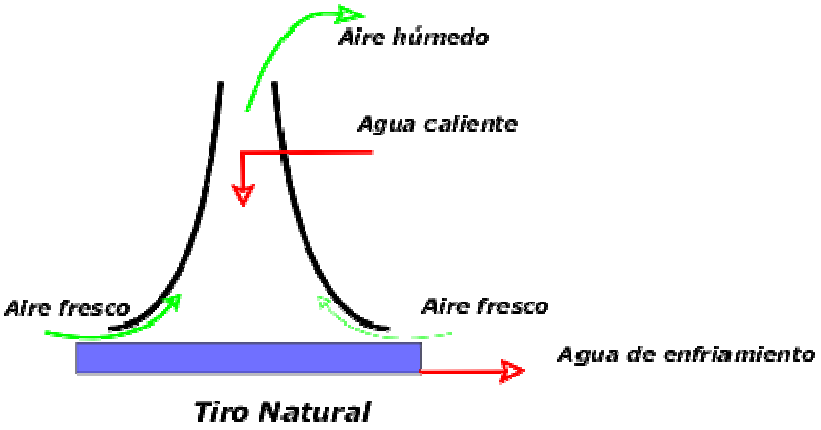
El principio de operación se expuso en el punto “temperatura de saturación adiabática”. El agua caliente proveniente de la planta se ingresa a la torre por la parte superior y cae por gravedad. Esta corriente se pone en contacto con otra de aire fresco tomada de la atmósfera que hace el camino opuesto (hacia arriba). Hay 3 mecanismos por lo que esto ocurre, por tiro natural: cuando la propia diferencia de temperatura del aire dentro y fuera del equipo genera la circulación, por tiro inducido: cuando existe un ventilador que extrae el aire del interior del equipo desde la parte exterior o tiro forzado: cuando el soplador impulsa el aire hacia en interior. Podría también, de ser necesario, combinar los métodos.

El mecanismo por lo que el agua se enfría es quel aire que ingresa aun conteniendo humedad permite acomodar cierta cantidad de agua hasta alcanzar su saturación. El agua que se aporta es por evaporación de la entrada de agua caliente. Para producirse el cambio de fase se requiere calor que se toma del mismo sistema enfriándolo. El água fría cae a una pileta desde la que es bombeada a la planta cerrándose el ciclo.

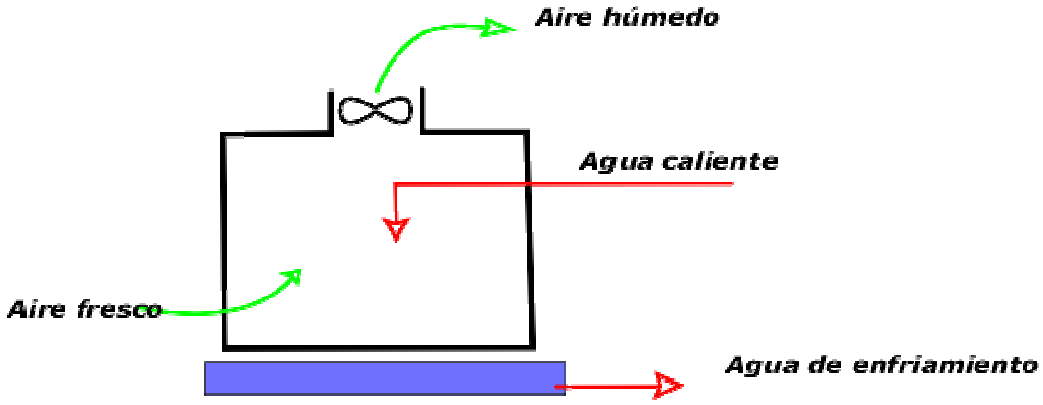
Pero en realidad se aprecia que el ciclo no es cerrado produciendose permanente pérdida de agua (agua tratada, recordemos) no solo por el propio funcionamiento de la torre sino también por las gotas que suelen ser arrastradas por el aire como así la necesaria purga requerida para evitar la acumulación de sales.

Para evitar la pérdida de inventario de agua esa cantidad debe reponerse en lo que se conoce como agua de reposición o make-up por la expresión en inglés. Al considerar una sola

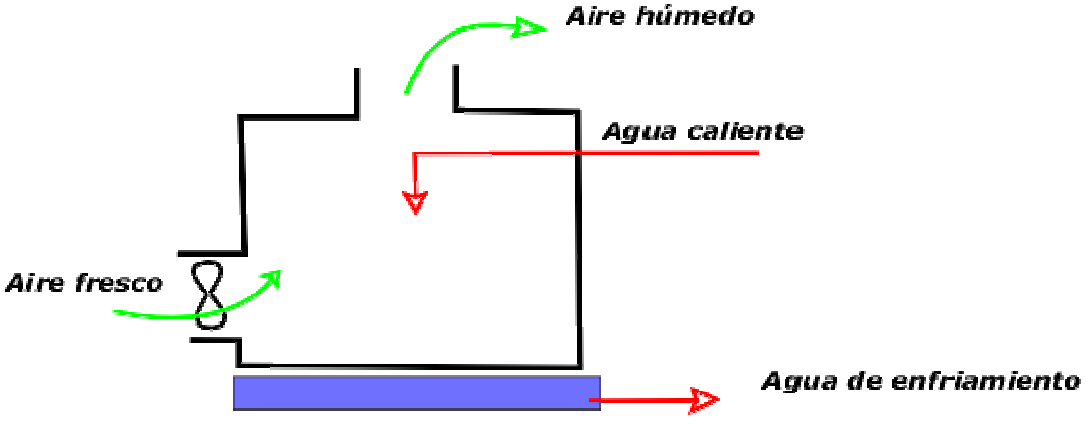
etapa ambas temperaturas de salida son igual siendo la mínima que es posible la temperatura de bulbo húmedo la que es muy dependiente de la humedad del aire de entrada.



Tiro Natural



Tiro Inducido

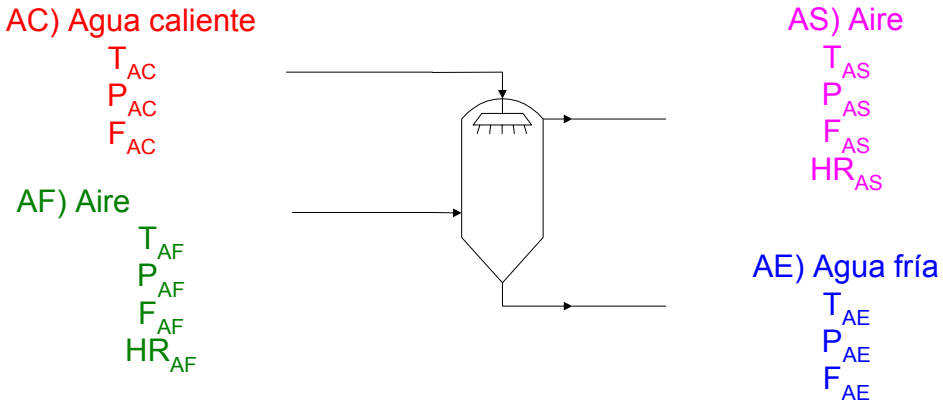


Tiro Forzado

Aplicación de higrometría.

Una corriente de agua de enfriamiento que viene caliente del proceso se pone en contactocon aire. Una parte del agua se evapora en forma adiabática y enfría el resto del agua que abandona la torre. A modo de simplificación supondremos que la torre opera como una única etapa de equilibrio (en la realidad son varias) por lo que podemos admitir que las temperaturas del aire y del agua que abandonan el equipo son la misma. Además supondremos que el aire sale completamente saturado. Debido a la pérdida de agua por evaporación ésta debe reponerse. En el presente modelo dicha corriente no está considerada.

Esquema:



AC) Agua caliente:

Flujo: F_{AC}
Temperatura: T_{AC}
Presión: P_{AC}
Entalpía: $H_{AC} = \int_0^{T_{AC}} Cp \times t = Cp \times T_{AC}$

AF) Aire Frío

Flujo: F_{AF}
Temperatura: T_{AF}
Presión: P_{AF}

Humedad Relativa: HR_{AF}

Presión de saturación: $Ps_{AF} = 10^{\left(A - \frac{B}{C+TAF}\right)}$

Presión de vapor: $Pv_{AF} = \frac{Ps_{AF} \times HR_{AF}}{100}$

Fracción de agua: $x_{AF} = \frac{Pv_{AF}}{P_{AF}}$

Peso Molecular: $PM_{AF} = x_{AF} \times 18 + (1 - x_{AF}) \times 28{,}84$

Fracción másica: $xm_{AF} = \frac{Pv_{AF}}{P_{AF}} \frac{18}{PM_{AF}}$

Entalpía: $H_{AF} = 0{,}24 \times T_{AF} + xm_{AF} \times (595 + 0{,}22 \times T_{AF})$

AE) Agua de enfriamiento:

Flujo: F_{AE}

Temperatura: T_{AE}

Presión: P_{AE}

Entalpía: $H_{AE} = \int_0^{T_{AE}} Cp \times t = Cp \times T_{AE}$

2) Aire salida

Flujo: F_{AS}

Temperatura: T_{AS}

Presión: P_{AS}

Humedad Relativa: HR_{AS}

Presión de saturación: $Ps_{AS} = 10^{\left(A - \frac{B}{C+TAS}\right)}$

Presión de vapor: $Pv_{AS} = \frac{Ps_{AS} \times HR_{AS}}{100}$

Fracción de agua: $x_{AS} = \frac{Pv_{AS}}{P_{AS}}$

Peso Molecular: $PM_{AS} = x_{AS} \times 18 + (1 - x_{AS}) \times 28{,}84$

Fracción másica: $xm_{AS} = \frac{Pv_{AS}}{P_{AS}} \frac{18}{PM_{AS}}$

Entalpía: $H_{AS} = 0{,}24 \times ts + xms \times (595 + 0{,}22 \times ts)$

***Resolución*:**

Balance global de materia: $F_{AC} + F_{AF} = F_{AS} + F_{AE}$ (1)

Balance por componente: $F_{AC} \times xm_i^{AC} + F_{AF} \times xm_i^{AF} = F_{AS} \times xm_i^{AS} + F_{AE} \times xm_i^{AE}$

Si consideramos al aire seco como un componente puro la mezcla puede tratarse como binaria bastado sólo un balance por componente. En caso de usar el del aire seco, se anulan sus composiciones en la corrientes de agua (se asume que no hay aire disuelto).

$$F_{AF} \times xm_{AS}^{AF} = F_{AS} \times xm_{AS}^{AS} \quad (2)$$

$$F_{AS} = \frac{F_{AF} \times xm_{AS}^{AF}}{xm_{AS}^{AS}}$$

Balance de energía: $F_{AC} \times H_{AC} + F_{AF} \times H_{AF} = F_{AS} \times H_{AS} + F_{AE} \times H_{AE}$ (3)

Sistema de ecuaciones:

Siendo que las composiciones de las 4 corrientes se pueden calcular y que, dadas las 4 temperaturas se pueden calcular las 4 entalpías, tomamos a estos como parámetros con lo que nos queda:

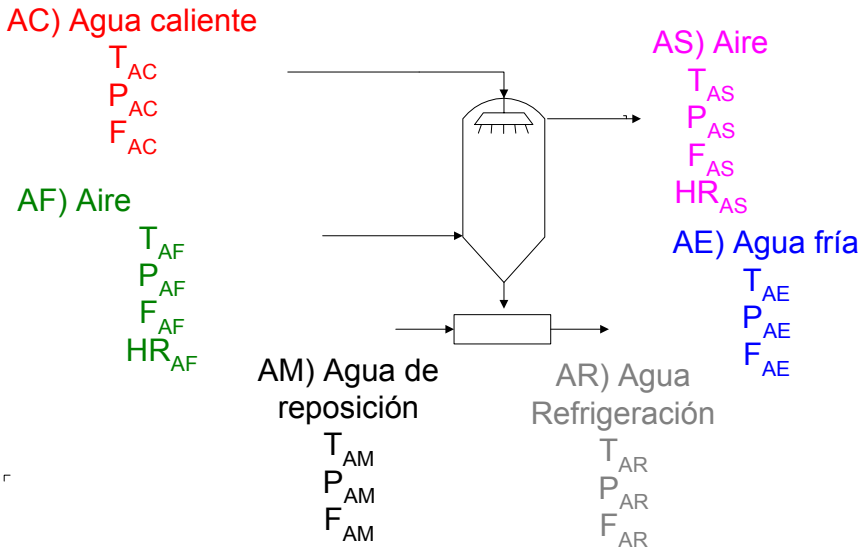
Variables) $F_{AC}, H_{AC}, F_{AF}, x_{AS}^{AF}, H_{AF}, F_{AS}, x_{AS}^{AS}, H_{AS}, F_{AE}, H_{AE}, T_{AC}, T_{AF}, T_{AF}, T_{AS}$

Parametros) $H_{AC}, F_{AF}, xm_{AS}^{AF}, H_{AF}, xm_{AS}^{AS}, H_{AS}, H_{AE}, T_{AC}, T_{AF}, T_{AF}, T_{AS}$

Variables) F_{AC}, F_{AS}, F_{AE}

Que junto con las ecuaciones (1), (2) y (3) nos conforma un sistema de 3 ecuaciones con 3 incógnitas por lo que el sistema puede resolverse.

Agua de reposición:



Para evitar que el inventario de agua de la torre disminuya se le agrega una cantidad de agua de reposición (Make up) equivalente a la cantidad evaporada. Como la temperatura de la misma es diferente a la de Agua de enfriamiento que sale de la torre, el agua refrigerada (la que finalmente va al proceso) resulta tener una temperatura diferente que debe calcularse del balance de energía de la propia pileta.

$$F_{AM} \times H_{AM} + F_{AE} \times H_{AE} = F_{AR} \times H_{AR}$$

Ejemplo numérico:

Una corriente de aire de 1000 Kg/hr a 27 ºC, 1 atm de presión con una humedad relativa del 40 % ingresa a una torre de enfriamiento de la que sale totalmente saturado y a una temperatura de 30 ºC para enfriar una corriente de agua de enfriamiento cuya temperatura es de 50 ºC. El sistema está en equilibrio.

a) Calcular la humedad absoluta de la corriente de aire que sale.
b) Calcular la cantidad de agua de enfriamiento que se evapora.
c) Calcular la cantidad de agua que puede enfriarse.

Datos:

Temperatura de referencia: 0 [ºC]

CP_{AGUA}= 1 [Kcal/Kg ºC]

$$H_{AGUA} = \int_0^t Cp_{AGUA} \times dt = 1\left[\frac{Kcal}{Kg \times ^oC}\right] \times (t-0)[^oC] = t\left[\frac{Kcal}{Kg}\right]$$

Entradas :

AC) Agua caliente

Flujo = F_{AC}

T_{AC} = 50 [ºC]

P_{AC} = 1 [atm]

H_{AC} = 50 [Kcal/Kg]

AF) Aire Frío

F_{AF}= 1000 [Kg/hr]

T_{AF} = 27 [ºC]

P_{AF} = 1 [atm]

HR_{AF}= 40 %

$$Psat_{AF} = 10^{\left(8{,}071311 - \frac{1730{,}63}{233{,}426+T_{AF}}\right)} = 10^{\left(8{,}071311 - \frac{1730{,}63}{233{,}426+27}\right)} = 26{,}66\ [mmHg]$$

Pv_{AF}= $HR_{AF} = \frac{Pv_{AF}}{Psat_{AF}} \times 100 \quad \rightarrow \quad Pv_{AF} = \frac{HR_{AF} \times Psat_{AF}}{100}$

$$Pv_{AF} = \frac{40 \times 26{,}66[mmHg]}{100} = 10{,}66[mmHg]$$

Humedad absoluta $w_{AF} = \frac{Pv_{AF}}{P_{AF} - Pv_{AF}} = \frac{10{,}66}{760 - 10{,}66} = 0{,}01423\left[\frac{Kmol_{AGUA}}{Kmol_{AS}}\right]$

Humedad absoluta másica

$$wm_{AF} = \frac{PM_{Agua}}{PM_{AS}} \frac{Pv_{AF}}{P_{AF} - Pv_{AF}} = 0{,}622 \times \frac{10{,}66}{760 - 10{,}66} = 8{,}851 \times 10^{-3}\left[\frac{Kg_{AGUA}}{Kg_{AS}}\right]$$

Fracción molar $x_{AF} = \frac{Pv_{AF}}{P_{AF}} = \frac{10{,}66}{760} = 0{,}01403\left[\frac{Kmol_{AGUA}}{Kmol_{AH}}\right]$

Peso molecular

$$PM_{AF} = \sum_{i=1}^{NC} x_i^{AF} \times PM_i = 0{,}01403 \times 18 + (1 - 0{,}01403) \times 28{,}84 = 28{,}69 \left[\frac{Kg}{Kmol} \right]$$

Fracción másica $xm_{AF} = \frac{18}{28{,}69} \times \frac{Pv_{AF}}{P_{AF}} = 0{,}627 \times \frac{10{,}66}{760} = 8{,}800 \times 10^{-3} \left[\frac{Kg_{AGUA}}{Kg_{AH}} \right]$

Entalpía $H_{AF} = 0{,}24 \times t_{AF} + xm_{AF} \times (595 + 0{,}22 \times t_{AF}) =$

$$H_{AF} = 0{,}24 \times 27 + 8{,}800 \times 10^{-3} \times (595 + 0{,}22 \times 27) = 11{,}77 \left[\frac{Kcal}{Kg_{AH}} \right]$$

Salidas :

AE) Agua de enfriamiento

Flujo = F_{AE}

$T_{AE} = T_{AS}$ =30 [ºC] (se considera equilibrio entre fases)

P_{AE} = 1 [atm]

H_{AE} = 30 [Kcal/Kg]

AS) Aire saturado

Flujo= F_{AS} [Kg/hr]

T_{AS} = 30 [ºC]

P_{AS} = 1 [atm]

HR_{AS}= 100 % (rendimiento del 100 % de la torre)

$$Psat_{AS} = 10^{\left(8{,}071311 - \frac{1736{,}63}{233{,}426 + T_{AS}}\right)} = 10^{\left(8{,}071311 - \frac{1736{,}63}{233{,}426 + 30}\right)} = 31{,}74 \ [mmHg]$$

Pv_{AS}= $HR_{AS} = \frac{Pv_{AS}}{Psat_{AS}} \times 100 \quad \rightarrow \quad P_{AS} = \frac{HR_{AS} \times Psat_{AS}}{100}$

$$P_{AS} = \frac{100 \times 31{,}74 [mmHg]}{100} = 31{,}74 [mmHg]$$

Humedad absoluta $w_{AS} = \frac{Pv_{AS}}{P_{AS} - Pv_{AS}} = \frac{31{,}74}{760 - 31{,}74} = 0{,}04358 \left[\frac{Kmol_{AGUA}}{Kmol_{AS}} \right]$

Humedad absoluta másica

$$wm_{AS} = \frac{PM_{Agua}}{PM_{AS}} \frac{Pv_{AS}}{P_{AS} - Pv_{AS}} = 0{,}622 \times \frac{31{,}74}{760 - 31{,}74} = 0{,}02711 \left[\frac{Kg_{AGUA}}{Kg_{AS}} \right]$$

Fracción molar $x_{AS} = \frac{Pv_{AS}}{P_{AS}} = \frac{31{,}74}{760} = 0{,}04176 \left[\frac{Kmol_{AGUA}}{Kmol_{AH}} \right]$

Peso molecular

$$PM_{AS} = \sum_{i=1}^{NC} x_i^{AS} \times PM_i = 0{,}04176 \times 18 + (1 - 0{,}04176) \times 28{,}84 = 28{,}38 \left[\frac{Kg}{Kmol} \right]$$

Fracción másica $xm_{AS} = \frac{18}{28{,}38} \times \frac{Pv_{AS}}{P_{AS}} = 0{,}6341 \times \frac{31{,}74}{760} = 0{,}02648 \left[\frac{Kg_{AGUA}}{Kg_{AH}} \right]$

Entalpía $H_{AS} = 0{,}24 \times T_{AS} + xm_{AS} \times (595 + 0{,}22 \times T_{AS}) =$

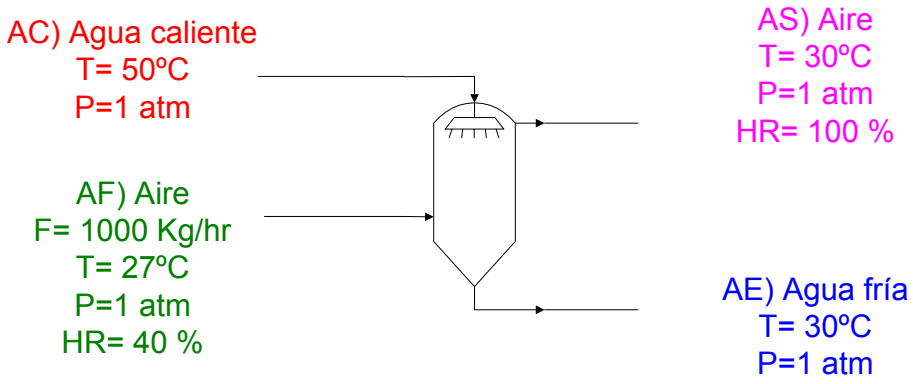
$$H_{AS} = 0{,}24 \times 30 + 0{,}02648 \times (595 + 0{,}22 \times 30) = 23{,}13 \left[\frac{Kcal}{Kg_{AH}} \right]$$

Enfoque generalizado:

Torre de enfriamiento

Aplicación higrometría.

Esquema:



Balance global de materia: $F_{AC} + F_{AF} = F_{AS} + F_{AE}$ (1)

Balance por componente: $F_{AC} \times xm_i^{AC} + F_{AF} \times xm_i^{AF} = F_{AS} \times xm_i^{AS} + F_{AE} \times xm_i^{AE}$

Si consideramos al aire seco como un componente puro la mezcla puede tratarse como binaria bastado sólo un balance por componente. En caso de usar el del aire seco, se anulan sus composiciones en la corrientes de agua (se asume que no hay aire disuelto).

$$F_{AF} \times xm_{AS}^{AF} = F_{AS} \times xm_{AS}^{AS} \quad (2)$$

$$F_{AS} = \frac{F_{AF} \times xm_{AS}^{AF}}{xm_{AS}^{AS}}$$

Balance de energía: $F_{AC} \times H_{AC} + F_{AF} \times H_{AF} = F_{AS} \times H_{AS} + F_{AE} \times H_{AE}$ (3)

Sistema de ecuaciones:

Siendo que las composiciones de las 4 corrientes se pueden calcular y que, dadas las 4 temperaturas se pueden calcular las 4 entalpías, tomamos a estos como parámetros con lo que nos queda:

Variables) $F_{AC}, H_{AC}, F_{AF}, x_{AS}^{AF}, H_{AF}, F_{AS}, x_{AS}^{AS}, H_{AS}, F_{AE}, H_{AE}, T_{AC}, T_{AF}, T_{AF}, T_{AS}$

Parametros) $H_{AC}, F_{AF}, xm_{AS}^{AF}, H_{AF}, xm_{AS}^{AS}, H_{AS}, H_{AE}, T_{AC}, T_{AF}, T_{AF}, T_{AS}$

Variables) F_{AC}, F_{AS}, F_{AE}

Que junto con las ecuaciones (1), (2) y (3) nos conforma un sistema de 3 ecuaciones con 3 incógnitas por lo que el sistema puede resolverse.

En números:

F_{AF}= 1000 [Kg/h]

xm_{AS}^{AF}= (1-xm_{AGUA}^{AF}) =1-8,8x10^{-3}= 0,9912 [fracc másica]

xm_{AS}^{AS}= (1-xm_{AGUA}^{AS}) =1-0,02648= 0,9735 [fracc másica]

H_{AC}= 50 [Kcal/Kg]

H_{AF}= 11, 77 [Kcal/Kg]

H_{AE} = 30 [Kcal/Kg]

H_{AS} = 23,13 [Kcal/Kg]

$$F_{AC} + 1000\left[\frac{Kg}{hr}\right] = F_{AS} + F_{AE} \qquad \text{(a)}$$

$$1000 \times 0{,}9912 = F_{AS} \times 0{,}9735 \qquad \text{(b)}$$

$$F_{AC} \times 50 + 1000 \times 11{,}77 = F_{AS} \times 23{,}13 + F_{AE} \times 30 \qquad \text{(c)}$$

El sistema es lineal y existen diferentes métodos de resolución. De la ecuación (b) se desprende que:

$$F_{AS} = \frac{1000 \times 0{,}9912}{0{,}9735} = 1018\left[\frac{Kg}{hr}\right]$$

Reemplazando en la ecuación (a):

$$F_{AC} + 1000\left[\frac{Kg}{hr}\right] = 1018\left[\frac{Kg}{hr}\right] + F_{AE}$$

Despejando el flujo de agua de enfriamiento (F_{AE}):

$$F_{AE} = F_{AC} + 1000\left[\frac{Kg}{hr}\right] - 1018\left[\frac{Kg}{hr}\right]$$

Y Reemplazando en (c):

$$F_{AC} \times 50 + 1000 \times 11{,}77 = 1018\left[\frac{Kg}{hr}\right] \times 23{,}13 + \left(F_{AC} + 1000\left[\frac{Kg}{hr}\right] - 1018\left[\frac{Kg}{hr}\right]\right) \times 30$$

Operando algebráicamente (momentanemente quitamos las unidades):

$$F_{AC} \times 50 + 11770 = 23546 + 30 \times F_{AC} - 540$$

$$F_{AC} \times 50 - 30 \times F_{AC} = 23546 - 540 - 11770$$

$$20 \times F_{AC} = 11236$$

Flujo de agua caliente) $$F_{AC} = \frac{11236}{20} = 561{,}8\left[\frac{Kg}{hr}\right]$$

Flujo de agua de enfriamiento) $$F_{AE} = 561{,}8 + 1000 - 1018 = 543\left[\frac{Kg}{hr}\right]$$

Agua evaporada) $$= 561{,}8\left[\frac{Kg}{hr}\right] - 543{,}8\left[\frac{Kg}{hr}\right] = 18\left[\frac{Kg}{hr}\right]$$

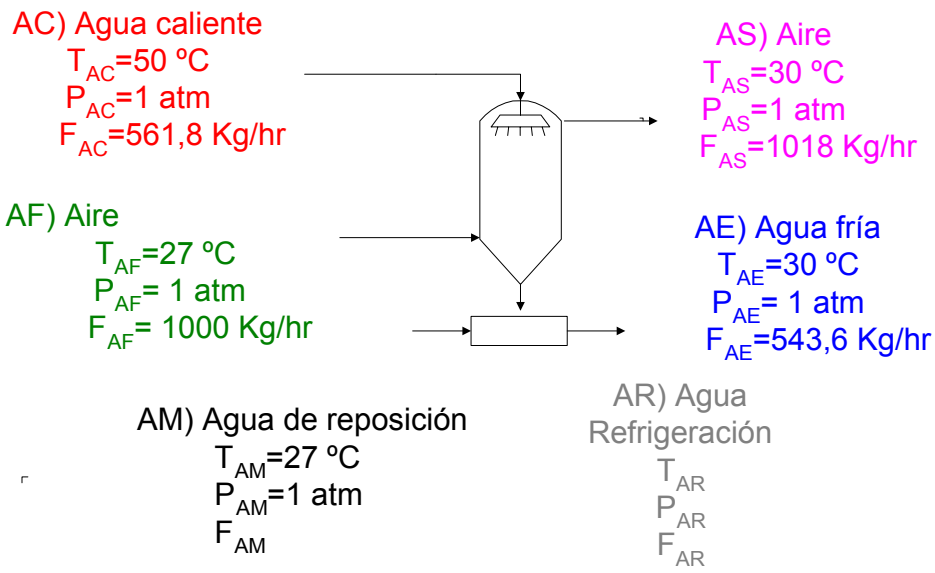
a) La humedad absoluta a la salida es: 27,11 [gr de agua/Kg de aire seco]

b) Se evaporan 18 [Kg/hr]

c) Se obtuvieron 543 [Kg/hr] de agua de enfriamiento.

Agua de reposición:

El agua que se evapora se repone con una corriente de agua cuya temperatura es de 27 ºC y 1 atm de presión, calcular la temperatura del agua que abandona la pileta de la torre.



AM) Agua de reposición

Flujo = F_{AM}

T_{AM} =27 [ºC]

P_{AM} = 1 [atm]

H_{AM} =27 [Kcal/Kg]

$F_{AM}=F_{AC}-F_{AE}$= 561,8-543,6 = 18,2 [Kg/hr]

AR) Agua de refrigeración

Flujo = F_{AR}

T_{AR} = ¿? [ºC]

P_{AR} = 1 [atm]

H_{AR} =¿? [Kcal/Kg]

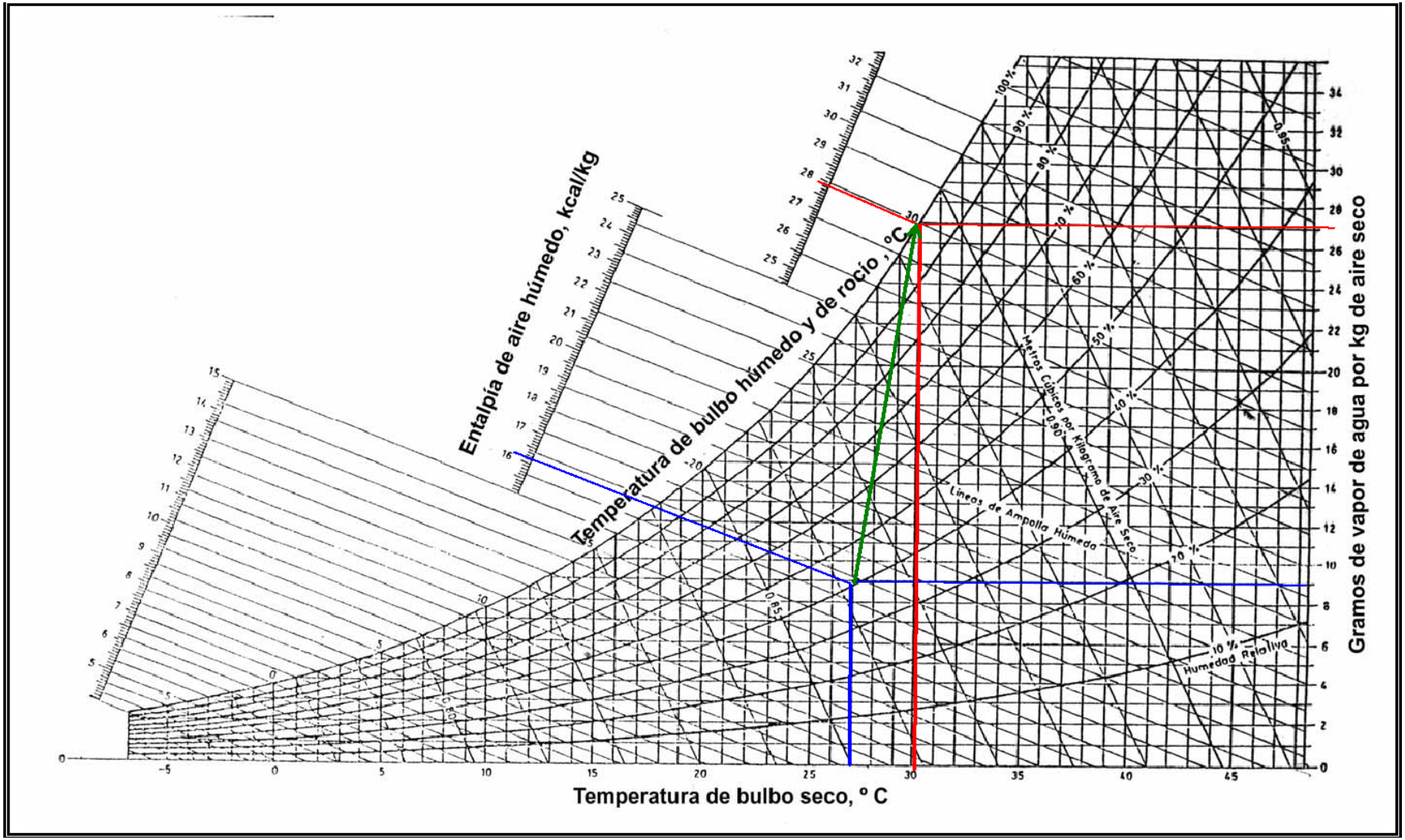
F_{AR}= F_{AC} = 561,8 [Kg/hr]

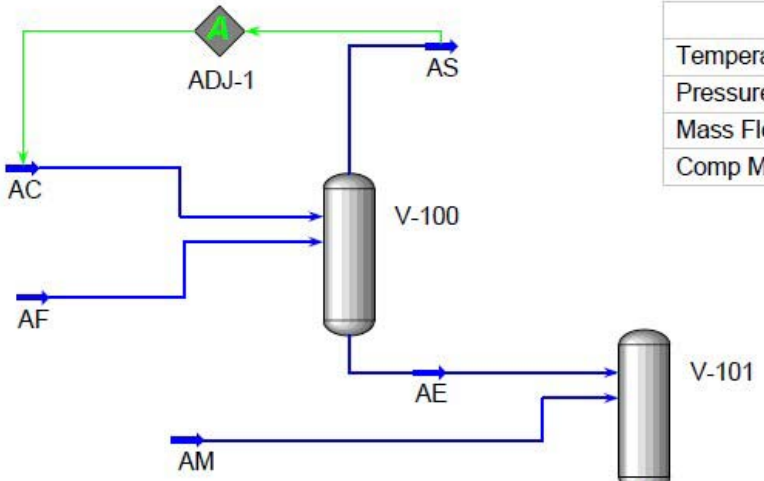
$$F_{AM} \times H_{AM} + F_{AE} \times H_{AE} = F_{AR} \times H_{AR}$$

$$18 \times 27 + 543{,}6 \times 30 = 561{,}8 \times 1 \times T_{AR}$$

$$T_{AR} = \frac{18 \times 27 + 543{,}6 \times 30}{561{,}8} = \frac{16794}{561{,}8} = 29{,}89\ [^{\circ}C]$$

Como se aprecia debido a lo escaso del flujo de reposición la temperatura varía muy poco.


Entalpía de aire húmedo, kcal/kg
Temperatura de bulbo húmedo y de rocío, °C
Gramos de vapor de agua por kg de aire seco
Temperatura de bulbo seco, ° C
Líneas de Ampolla Húmedo
Metros Cúbicos por Kilogramo de Aire Seco
Humedad Relativa



AC		
Temperature	50.00	C
Pressure	1.000	atm
Mass Flow	545.3	kg/h
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	

AS		
Temperature	30.00	C
Pressure	1.000	atm
Mass Flow	1018	kg/h
Comp Mole Frac (H2O)	0.0416	

AF		
Temperature	27.00	C
Pressure	1.000	atm
Mass Flow	1000	kg/h
Comp Mole Frac (H2O)	0.0140	

AE		
Temperature	30.00	C
Pressure	1.000	atm
Mass Flow	527.3	kg/h
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	

AM		
Temperature	27.00	C
Pressure	1.000	atm
Mass Flow	17.99	kg/h
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	

AR		
Temperature	29.90	C
Pressure	1.000	atm
Mass Flow	545.3	kg/h
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	

Código EMSO:

Para resolver el tema A, se asume que el flujo de aire frío es de 1000 [Kg/hr] y se liberan los otros 3 flujos. El código se detalla abajo. Los resultados son:

Para Faf =1000 [Kg/hr]

Da Fae= 543,598 [Kg/hr]

Fas=1018, 16 [Kg/hr]

Fac=561,755 [Kg/hr]

Con lo que el agua evaporada es: 561,755 - 543,598 = 18,157 [Kg/hr]

Variable	*Valor*
Cp	1,0000
A	8,0713
B	1730,6300
C	233,4260
xmac	1,0000
xmae	1,0000
Fac	561,7550
Tac	50,0000
Hac	50,0000
Fae	543,5980
Tae	30,0000
Hae	30,0000
Faf	1000,0000
Taf	27,0000
Paf	760,0000
HRaf	40,0000
Psaf	26,6642
Pvaf	10,6657

Variable	*Valor*
waf	0,0142
wmaf	0,0089
xaf	0,0140
PMaf	28,6879
xmaf	0,0088
Haf	11,7715
Fas	1018,1600
Tas	30,0000
Pas	760,0000
HRas	100,0000
Psas	31,7402
Pvas	31,7402
was	0,0436
wmas	0,0271
xas	0,0418
PMas	28,3873
xmas	0,0265
Has	23,1313

Cuando se considera el flujo de reposición de agua se deben insertar las nuevas variables quedando:

Variable	*Valor*
Cp	1,0000
A	8,0713
B	1730,6300
C	233,4260
xmac	1,0000
xmae	1,0000
Fac	1000,0000
Tac	50,0000
Hac	50,0000
Fae	967,6780
Tae	30,0000
Hae	30,0000
Faf	1780,1400
Taf	27,0000
Paf	760,0000
HRaf	40,0000
Psaf	26,6642
Pvaf	10,6657
waf	0,0142
wmaf	0,0089
xaf	0,0140

Variable	*Valor*
PMaf	28,6879
xmaf	0,0088
Haf	11,7715
Fas	1812,4600
Tas	30,0000
Pas	760,0000
HRas	100,0000
Psas	31,7402
Pvas	31,7402
was	0,0436
wmas	0,0271
xas	0,0418
PMas	28,3873
xmas	0,0265
Has	23,1313
Fam	32,3220
Tam	27,0000
Ham	27,0000
Far	1000,0000
Tar	29,9030
Har	29,9030

```
#* Balance *#

using "types";

FlowSheet Torre_de_enfriamiento

PARAMETERS
Cp as Real;
A as Real;
B as Real;
C as Real;
xmac as Real;
xmae as Real;


VARIABLES
Fac as Real;
Tac as Real;
Hac as Real;

Fae as Real;
Tae as Real;
Hae as Real;

Faf as Real;
Taf as Real;
Paf as Real;
HRaf as Real;
Psaf as Real;
Pvaf as Real;
waf as Real;
wmaf as Real;
xaf as Real;
PMaf as Real;
xmaf as Real;
Haf as Real;

Fas as Real;
Tas as Real;
Pas as Real;
HRas as Real;
Psas as Real;
Pvas as Real;
```

```
44      was as Real;
45      wmas as Real;
46      xas as Real;
47      PMas as Real;
48      xmas as Real;
49      Has as Real;
50
51
52      EQUATIONS
53      # Fac= 1000;
54      Tac= 50;
55      Hac=Cp*Tac;
56
57      #Fae= Fac;
58      Tae= 30;
59      Hae=Cp*Tae;
60
61      Faf=1000;
62      Taf=27;
63      Paf=760;
64      HRaf=40;
65      Psaf=10^(A-B/(C+Taf));
66      Pvaf=HRaf*Psaf/100;
67      waf=Pvaf/(Paf-Pvaf);
68      wmaf=0.622*waf;
69      xaf=Pvaf/Paf;
70      PMaf=xaf*18+(1-xaf)*28.84;
71      xmaf=18/PMaf*xaf;
72      Haf=0.24*Taf+xmaf*(595+0.22*Taf);
73
74
75      #Fas=Faf;
76      Tas=30;
77      Pas=760;
78      HRas=100;
79      Psas=10^(A-B/(C+Tas));
80      Pvas=HRas*Psas/100;
81      was=Pvas/(Pas-Pvas);
82      wmas=0.622*was;
83      xas=Pvas/Pas;
84      PMas=xas*18+(1-xas)*28.84;
85      xmas=18/PMas*xas;
86      Has=0.24*Tas+xmas*(595+0.22*Tas);
```

```
87
88      Fac+Faf=Fas+Fae;
89      Fac*xmac+Faf*xmaf=Fas*xmas+Fae*xmae;
90      Fac*Hac+Faf*Haf=Fas*Has+Fae*Hae;
91
92      SET
93      Cp= 1.0;
94      A= 8.07131;
95      B=1730.63;
96      C=233.426;
97      xmac=1;
98      xmae=1;
99
100     INITIAL
101
102
103     GUESS
104
105
106     OPTIONS
107     TimeStart=0;
108     TimeEnd=100;
109     TimeStep=1;
110     TimeUnit='h';
111     DAESolver(File="dassl");
112     Dynamic=fals1111e;
113
114     end
```