

Diseño y Ensayo de un generador de aire húmedo de precisión

Diego Saravia y Graciela Lesino*

INENCO – Universidad Nacional de Salta

Calle Buenos Aires 177, 4400 - Salta.

Tel: 54 - 87 - 255424; Fax: 54 - 87 - 255489

E-mail: dsa@ciunsa.edu.ar

INTRODUCCION

Se presenta un equipo de generación de aire húmedo destinado a la calibración de sensores y medidores de humedad y a la realización de diferentes experimentos psicrométricos.

Consiste en un generador continuo de aire húmedo con una etapa de humidificación adiabática y una etapa de calentamiento. Se incorpora un instrumento de medición de humedad por punto de rocío de alta precisión.

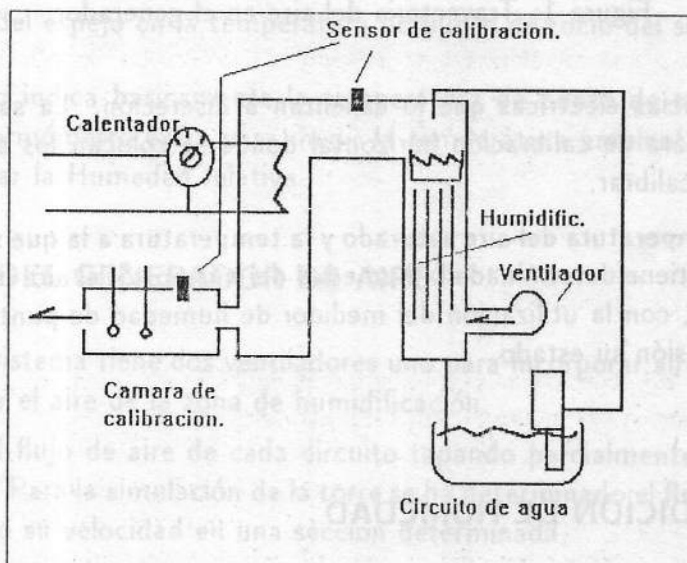


Figura 1. Calibrador de sensores de humedad.

La etapa de humidificación consiste en un ducto vertical por el que asciende aire entre un sistema de telas paralelas mojadas por agua descendente. El aire tomado del exterior es impulsado por un ventilador centrífugo. Existe un ducto paralelo al principal con otro ventilador que permite recircular el aire si es necesario. La zona superior del ducto principal tiene una placa perforada que distribuye el agua que moja las telas. El agua se colecta en la zona inferior y cae a un tanque que controla y mantiene su temperatura. Una bomba impulsa el agua desde el tanque hasta la placa de distribución.

El aire que sale del ducto vertical ingresa a un ducto horizontal donde se colocan distintos sensores. De este ducto horizontal pasa a otro ducto vertical donde el aire desciende

*Investigadora del CONICET

Diagrama Psicrometrico INENCO 1991

Presion Estandar.

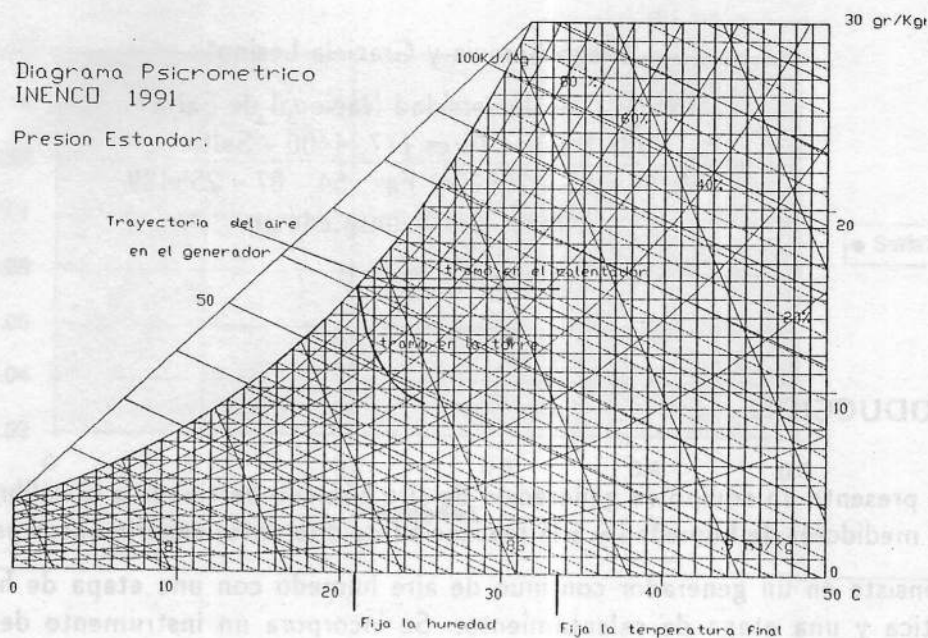


Figura 1: Trayectoria del aire en el generador.

a través de resistencias eléctricas que lo calientan a discreción. La salida de este ducto conecta con la cámara de calibración horizontal donde se colocan los sensores del equipo más los sensores a calibrar.

Midiendo la temperatura del aire saturado y la temperatura a la que se luego se calienta el aire a la salida se tiene determinada la humedad del mismo. Si el aire no se llega a saturar en la primera etapa, con la utilización del medidor de humedad de punto de rocío igual se determina con precisión su estado.

EQUIPO DE MEDICION DE HUMEDAD

La utilización del medidor de punto de rocío recientemente arribado a nuestro instituto permite medir con seguridad en zonas de alta (y también baja) humedad relativa lo que resulta importante para asegurar el correcto funcionamiento de la etapa de humidificación y corroborar la calibración de los distintos sensores.

Con este equipo se logran precisiones del orden del 0.5% [8] en la determinación de la humedad relativa lo que constituye una mejora con respecto a otros equipos de calibración y generación preexistentes en el INENCO [4].

El instrumento utilizado es el Modelo 911 de la firma "EG&G Moisture and Humidity Systems" [3] que trabaja detectando la temperatura de condensación sobre un espejo enfriado.

El sistema consta de un espejo que puede ser o bien enfriado o bien calentado por una celda peltier y un sistema de diodos, emisor y receptor que determinan si el espejo

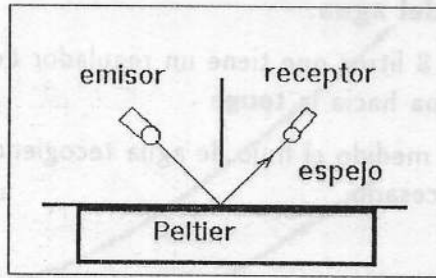


Figura 2: Sensor de humedad.

esta empañado o no. Además tiene la electrónica necesaria para mantener al sistema en el punto de rocío y determinar esta temperatura.

Para su funcionamiento:

1. se asegura que no haya condensación calentando el espejo en forma manual
2. se deja el sistema en automático comenzando el mismo a enfriarse hasta que se condense humedad. Apenas esto suceda el sistema comienza a mantener y regular la temperatura del espejo en la temperatura de punto de rocío del sistema.

El instrumento indica básicamente la temperatura de punto de rocío de la muestra, aunque tiene un termómetro extra para medir la temperatura ambiente y una calculadora interna para calcular la Humedad relativa.

DESCRIPCION DEL GENERADOR DE AIRE

Ventilación: El sistema tiene dos ventiladores uno para incorporar aire del exterior y otro para recircular el aire de la zona de humidificación.

Se controla el flujo de aire de cada circuito tapando parcialmente el flujo de aire de cada sistema. Para la simulación de la torre se ha determinado el flujo de aire midiendo y promediando su velocidad en una sección determinada.

Recolección de líquido:

La torre de humidificación tiene en su parte inferior un desagüe que dirige el agua hacia el sistema de alimentación.

Torre de humidificación del aire:

En ella la corriente ascendente de aire atraviesa un conjunto paralelo de telas. Una corriente de agua desciende mojando las telas y satura el aire. Las telas se encuentran a una distancia de un centímetro una de otra.

El aire a la salida de la torre está (salvo en algunas condiciones particulares) saturado y a una temperatura muy cercana (menos de medio grado de diferencia) a la del agua de entrada.

La torre tiene un ducto para recircular el aire y aumentar indirectamente el área de intercambio.

Sistema de alimentación del agua.

Consta de un tanque de 8 litros que tiene un regulador de temperatura. Una bomba recircula e impulsa al agua hacia la torre.

Para la simulación se ha medido el flujo de agua recogiendo un volumen determinado y midiendo el tiempo necesario.

Calentamiento del aire.

Consistirá en un calefactor y regulador electrónico de la temperatura. En el presente equipo está instalado pero no conectado porque se ha preferido ensayar la etapa de saturación adiabática. De cualquier forma el sistema está construido y solo falta conectarlo.

Cámara de calibración

A la salida del equipo se encuentra una cámara donde ubicar los sensores del equipo y aquellos que se desea calibrar.

Sensores de Humedad y Temperatura.

En diferentes puntos de equipo se encuentran instalados diferentes sensores de temperatura: para medir temperatura del agua: a la entrada de la torre y a la salida de la torre, para medir la temperatura del aire a su ingreso, a la salida de la torre de humidificación y a la entrada de la cámara de calibración. El medidor de humedad de punto de rocío puede ser montado y desmontado de dos lugares diferentes: a la salida de la etapa de humidificación y en la cámara de calibración (Disponemos de un solo sensor de este tipo).

ANALISIS PSICROMETRICO

El equipo trabaja usando una combinación de transferencia de masa y energía. La evaporación del agua absorbe calor. Esta energía se transfiere de la corriente de agua a la corriente de aire incrementando su humedad. Es similar a una torre de enfriamiento[2] si bien en nuestro caso el objetivo no es enfriar el agua sino obtener aire húmedo.

La figura 3 muestra la relación de temperaturas del aire (bulbo húmedo) y del agua. EL ΔT marcado como A está relacionado directamente con la capacidad térmica de la torre. A iguales condiciones de aire de entrada, flujos y temperatura de la misma, mayores torres disminuyen A.

Suponemos que estamos en condiciones estacionarias y que el agua es recirculada, entonces el ΔT marcado como R es igual al aumento de temperatura en el circuito externo, lo que a su vez depende del flujo de agua y la carga térmica y es independiente (en condiciones estacionarias) de la capacidad de la torre.

La performance del equipo depende de la temperatura de bulbo húmedo del aire entrante y no tanto de su temperatura o de su humedad relativa las que afectan más la cantidad de agua evaporada. La figura 4 muestra esta situación. El aire entra en A1 absorbe calor y humedad y sale en SA (para cargas altas el aire puede no estar saturado). El calor transferido al aire es proporcional a la diferencia de entalpía entre A1 y SA. Como

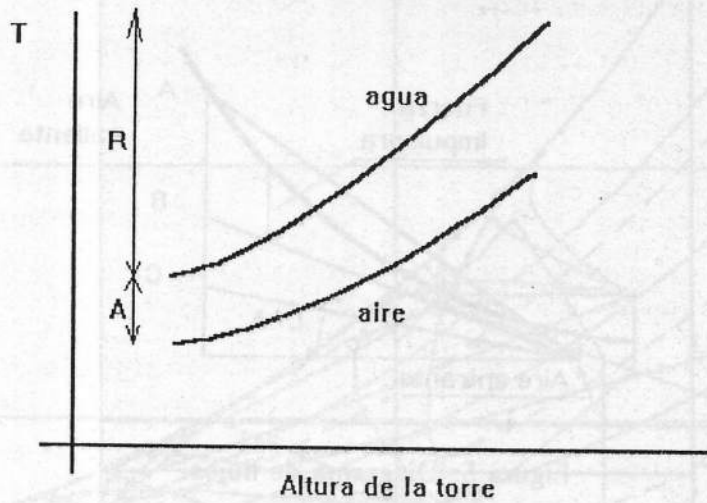


Figura 3: Relación de Temperaturas en la Torre.

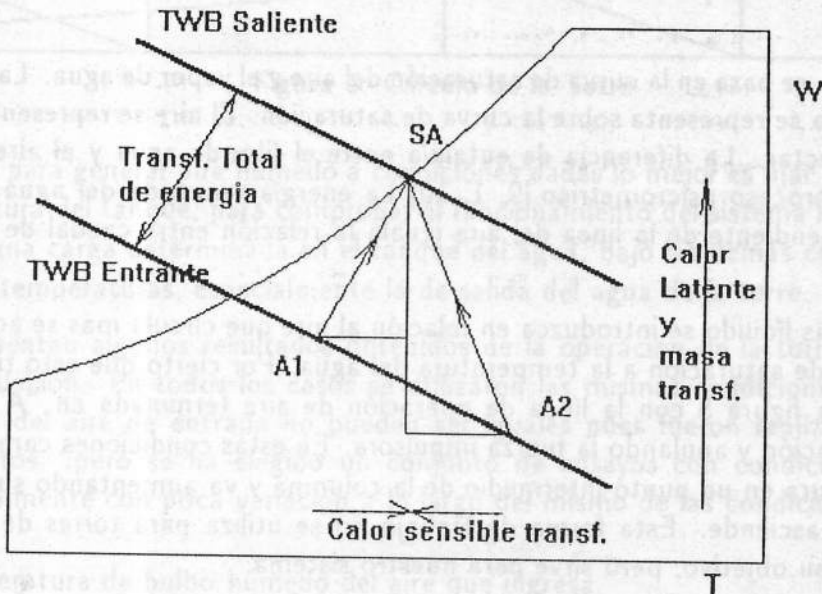


Figura 4: Análisis Psicrométrico del aire en la Torre.

las líneas de entalpía y de temperatura de bulbo húmedo son prácticamente paralelas, el ΔH está determinado por el cambio de la temperatura de bulbo húmedo.

El vector A1-SA puede ser descompuesto en dos componentes: la vertical que representa el calor latente y la horizontal el sensible.

Si la condición de entrada cambia a A2 con la misma temperatura de bulbo húmedo pero distinta temperatura, la transferencia total no cambia pero sí sus componentes.

La relación de calores latentes a sensibles es importante para determinar la cantidad de agua evaporada. La evaporación es proporcional a la parte latente o cambio de humedad específica.

En una situación estacionaria, si la carga es cero, el agua llegara a la temperatura de bulbo húmedo del aire. El aire describe un proceso a temperatura de bulbo húmedo

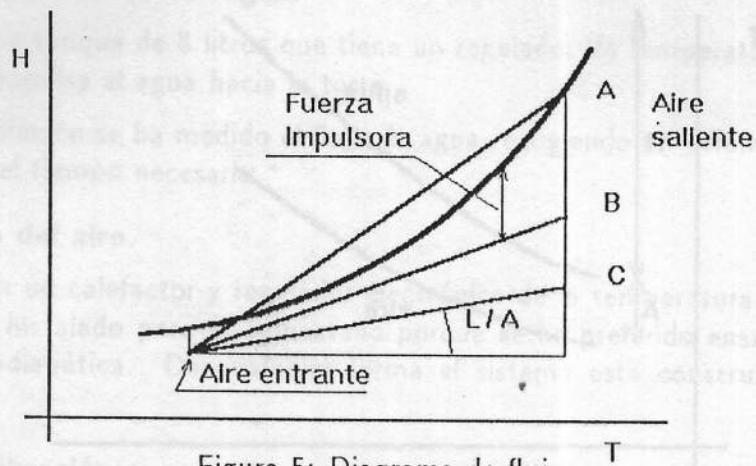


Figura 5: Diagrama de flujos.

constante. Cuando la carga es distinta de cero la temperatura de bulbo húmedo del aire varía acercando su temperatura de bulbo húmedo a la temperatura de entrada del agua.

La figura 5 se basa en la curva de saturación del aire y el vapor de agua. La temperatura del film de agua se representa sobre la curva de saturación. El aire se representa por alguna de las líneas rectas. La diferencia de entalpía entre el film de agua y el aire es la fuerza impulsora del proceso psicrometrico.[9, 1, 10] La energía removida del agua pasa al aire, por lo que la pendiente de la línea del aire iguala la relación entre caudal de liquido sobre caudal de aire.

Cuanto mas líquido se introduzca en relación al aire que circula mas se acercara el aire a la condición de saturación a la temperatura del agua. Por cierto que esto tiene un límite mostrado en la figura 5 con la línea de operación de aire terminada en "A" cortando la curva de saturación y anulando la fuerza impulsora. En estas condiciones cambia el análisis y el aire se satura en un punto intermedio de la columna y va aumentando su temperatura a medida que asciende. Esta forma de trabajo no se utiliza para torres de enfriamiento porque pierde su objetivo, pero sirve para nuestro sistema.

SIMULACION DE LA TORRE

En la figura6 se observan distintas trayectorias del aire ascendente por la torre según distintas condiciones iniciales y temperatura del agua.

La gráfica fue realizada con el programa TORRE que utiliza las rutinas del Psicro [6, 5]. TORRE fue hecho específicamente para calcular sistemas con procesos psicrométricos.

MEDICIONES

Se ha experimentado sobre la torre bajo condiciones de carga de calor positiva y cero. Todavía no se ha experimentado retirando calor del tanque de agua.

Bajo condiciones controladas la torre de humidificación se comporta tal como lo simula el programa.

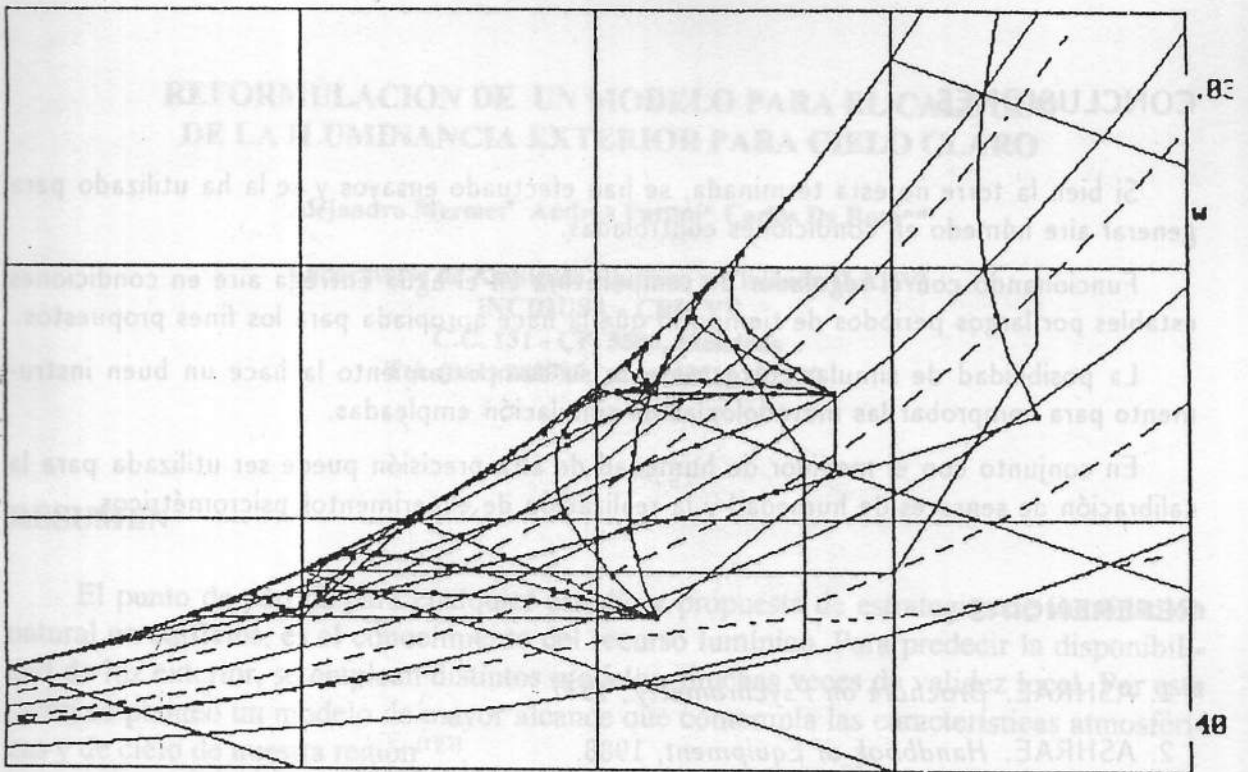


Figura 6: Cálculo de la Torre.

Si bien para generar aire húmedo a condiciones dadas lo mejor es fijar con un regulador la temperatura del tanque, para comprobar el funcionamiento del sistema lo mas sencillo es introducir una carga determinada en el tanque del agua, bajo las demás condiciones fijas y evaluar las temperaturas, especialmente la de salida del agua de la torre.

Se presentan algunos resultados obtenidos de la operación de la torre y su contraste con la simulación. En todos los casos se utilizaron las mismas condiciones de flujos. Las condiciones del aire de entrada no pueden ser iguales pues fueron realizadas en diferentes momentos. pero se ha elegido un conjunto de ensayos con condiciones similares y fundamentalmente con poca variación a lo largo del mismo de las condiciones de entrada.

tbh: Temperatura de bulbo húmedo del aire que ingresa.

t: Temperatura del aire que ingresa.

C: Potencia entregada al sistema.

TSAR: Temperatura de salida del agua real.

TSAP: Temperatura de salida del agua predicha.

tbh	t	C	TSAR	TSAP
18.3	23.4	0	18.8	18.3
17.4	23.6	50w	19.9	19.8
16.5	24.0	100w	20.8	20.4

La comparación de los resultados indica una buena capacidad predictiva de la simulación, si bien se observan siempre temperaturas mayores a las previstas, esto puede deberse a otras cargas no evaluadas, como ser la potencia de los ventiladores y bombas y circuitos de agua no suficientemente bien aislados.

CONCLUSIONES

Si bien la torre no esta terminada, se han efectuado ensayos y se la ha utilizado para generar aire húmedo en condiciones controladas.

Funcionando con el regulador de temperatura en el agua entrega aire en condiciones estables por largos periodos de tiempo lo que la hace apropiada para los fines propuestos.

La posibilidad de simular correctamente su comportamiento la hace un buen instrumento para comprobar las metodologías de simulación empleadas.

En conjunto con el medidor de humedad de alta precisión puede ser utilizada para la calibración de sensores de humedad y la realización de experimentos psicrométricos.

REFERENCIAS

1. ASHRAE. *Brochure on Psychrometry.*, 1977.
2. ASHRAE. *Handbook of Equipment*, 1988.
3. EG&G Moisture y Humidity Systems. *Operators Manual, Model 911 Dew-all Digital Humidity Analyzer, TM78-263.*
4. Gloria Plaza, Judith Franco, y Luis Saravia. Diseño y ensayo de un sistema para calibrar higrometros. En *ASADES.*, 1988.
5. Diego Saravia. Desarrollo de una calculadora psicrométrica. Presentado en el Tercer Encuentro Académico Tecnológico. Universidad de la Plata. IBM y en *ASADES* 1992, 1992.
6. Diego Saravia. *Manual del programa PSICRO, RPI 391026*, 1992.
7. Diego Saravia. Termodinámica del aire húmedo. Informe Interno. INENCO, 1992.
8. Diego Saravia y Graciela Lesino. La propagación de errores en la medición de humedad. En *ASADES.*, 1992.
9. Diego Saravia y Graciela Lesino. Propiedades termodinámicas del aire húmedo. En *ASADES.*, 1995.
10. J.L. Threlkeld. *Ing. del Ambito Térmico.* 1973.