

Hojas técnicas

Casos de aplicación: Refrigeración y humidificación

1. Introducción

Si nos fijamos en las temperaturas seca y húmeda de los termómetros de un Sicrómetro, Fig. 2, veremos que normalmente, una de ellas, la del termómetro húmedo, es inferior a la temperatura ambiente que indica el termómetro seco.



Fig 1 Termómetro de bulbo húmedo y termómetro seco

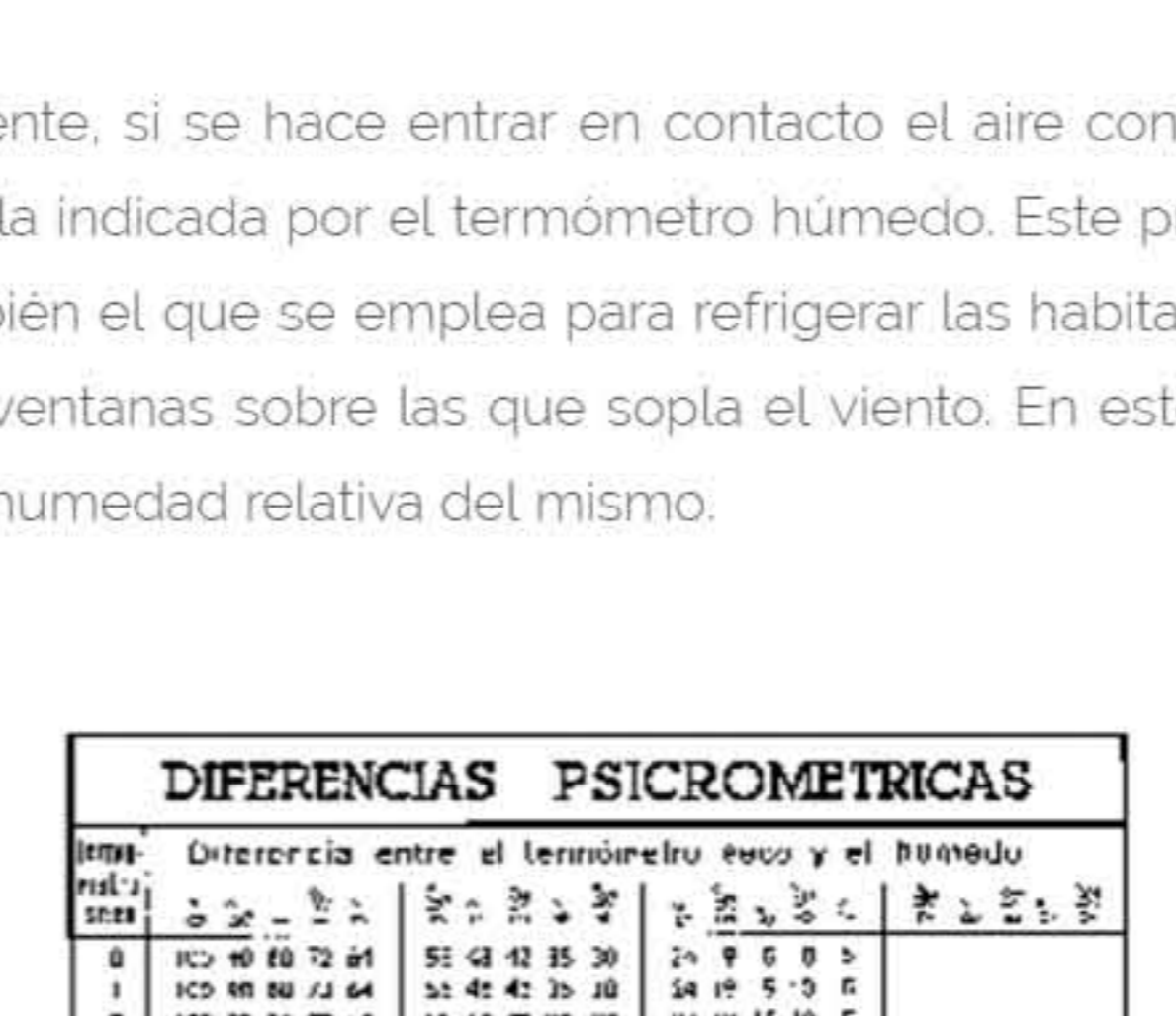


Fig. 2 Comparación de los termómetros

Este fenómeno nos indica que, teóricamente, si se hace entrar en contacto el aire con un cuerpo empapado de agua, podemos conseguir disminuir su temperatura hasta la indicada por el termómetro húmedo. Este proceso es el mismo que mantiene fresca la temperatura del agua de un botijo, y también el que se emplea para refrigerar las habitaciones en algunos países cálidos mediante esterillas humedecidas colocadas en las ventanas sobre las que sopla el viento. En este caso, al mismo tiempo que disminuye la temperatura del aire, aumenta también la humedad relativa del mismo.

DIFERENCIAS PSICROMÉTRICAS											
Diferencia entre el termómetro seco y el húmedo											
Humedad relativa (%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	Diferencia (°C)
0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
1	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
3	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
4	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
6	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
7	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
8	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
9	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
10	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60

Tabla 1. Diferencias psicrométricas

Una explicación elemental de este fenómeno reside en el hecho de que, para evaporar el agua necesaria para saturar el aire de humedad, es imprescindible aportar el calor de evaporación para conseguir transformarla en vapor de agua y este calor sólo puede proporcionarlo el mismo aire, con lo que disminuye su temperatura. Una explicación más completa de este proceso se ha efectuado en la Hoja Técnica: El agua. La sicrometría.

Para concretar más, así como plantear la solución de procesos de refrigeración y humidificación, fijémonos en la Fig. 4 en la que, en el diagrama psicrométrico, se han señalado dos puntos, el A y B, que corresponden a dos estados determinados del aire:

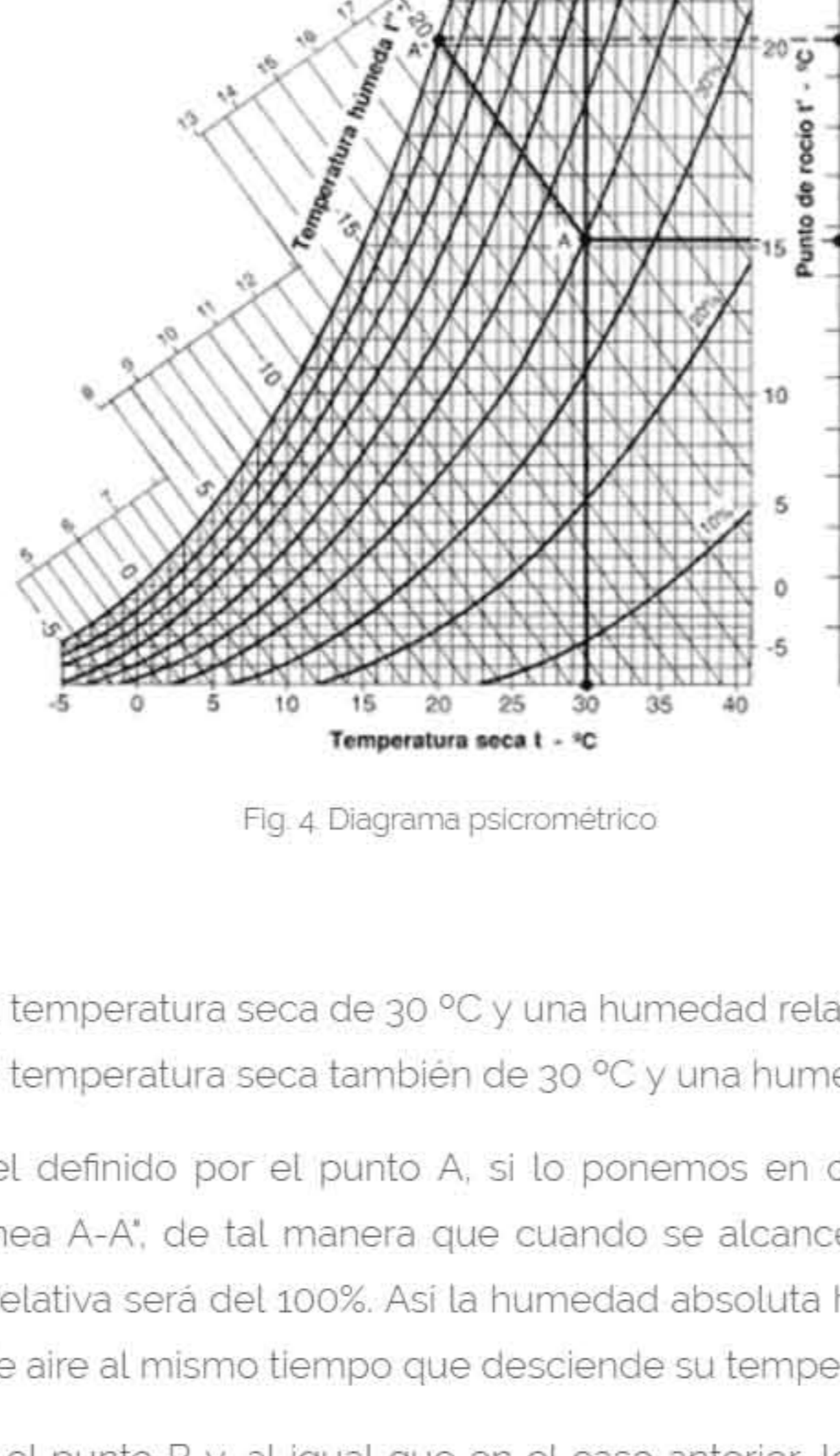


Fig. 4 Diagrama psicrométrico

- El punto A representa aire con una temperatura seca de 30 °C y una humedad relativa del 40%.
- El punto B representa aire con una temperatura seca también de 30 °C y una humedad realtiva del 60%.

En el caso de disponer de aire como el definido por el punto A, si lo ponemos en contacto íntimo con agua aquél se enfriará siguiendo el proceso marcado por la línea A-A', de tal manera que cuando se alcance el punto A' la temperatura del aire habrá descendido hasta 20 °C y su humedad relativa será del 100%. Así la humedad absoluta habrá aumentado de 10,7 gr/kg (punto A1) a 14,7 gr/kg (punto A2). Es decir, cada kg de aire al mismo tiempo que desciende su temperatura en 10 °C absorbe 4 gr de agua.

Si el aire considerado es el definido por el punto B y, al igual que en el caso anterior, lo ponemos en contacto íntimo con agua se enfriará siguiendo el proceso marcado por la línea BB' descendiendo su temperatura a 24 °C y alcanzando su humedad relativa también el 100%. La humedad absoluta habrá aumentado de 16 gr/kg (punto B1) a 18,4 gr/kg (punto B2). Es decir, cada kg de aire, al mismo tiempo que disminuye su temperatura en 6 °C, absorbe 2,4 gr de agua.

En los dos ejemplos anteriores vemos que la disminución de la temperatura se consigue a costa de un aumento de la humedad del aire y que el efecto refrigerador de este tipo de proceso es tanto más acusado cuanto más seco sea el clima. Otra característica a tener en cuenta es que, debido al aumento de humedad del aire, la capacidad de disipación de calor del cuerpo humano, que se produce principalmente gracias a la transpiración, disminuye.

2. Dispositivos para la refrigeración del aire

La eficacia de un sistema de refrigeración por evaporación de agua depende:

- De la superficie de contacto entre el aire y el agua.
- De la temperatura relativa entre el aire y el agua durante el tiempo de contacto.
- Del tiempo durante el que el aire está en contacto con el agua.
- De la diferencia entre la temperatura húmeda del aire y la temperatura del agua empleada para el proceso.

Los dispositivos diseñados tienden a optimizar las anteriores condiciones consiguiéndose rendimientos entre el 95% y el 60% de la diferencia entre la temperatura seca y húmeda del psicrómetro.

Además de los sistemas más o menos sofisticados diseñados para este fin, la refrigeración del aire puede hacerse mediante dispositivos sencillos como los representados en las Figs. 5 y 6. El rendimiento que puede esperarse del mostrado en la Fig. 6 es del orden del 60% de la diferencia entre las temperaturas seca y húmeda.



Fig. 5 Sistema de Refrigeración de aire

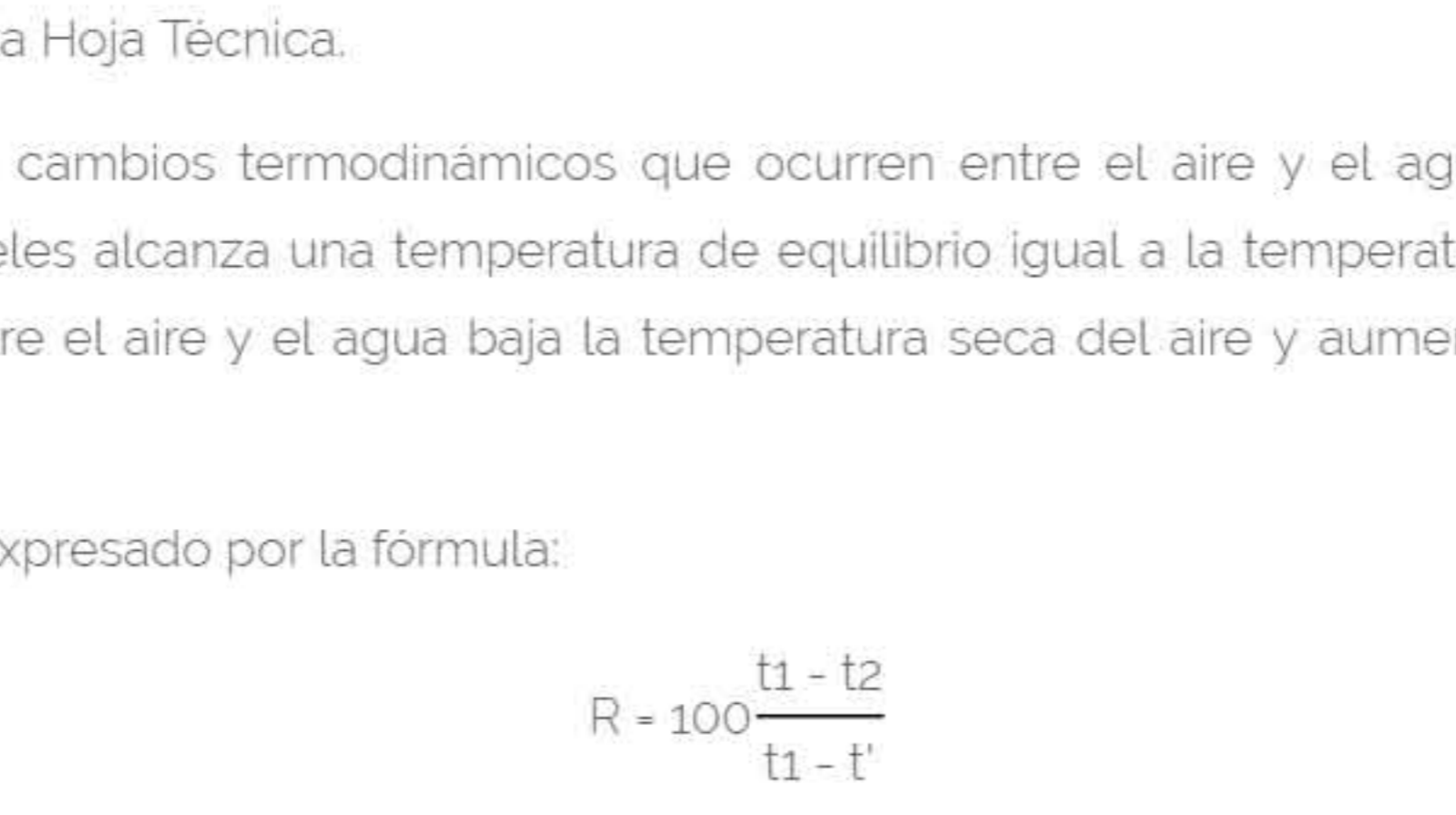


Fig. 6 Sistema de Refrigeración de aire

Los sistemas de enfriamiento de aire por evaporación pueden ser directos o indirectos. En los primeros hay un contacto del aire con el agua ya sea haciendo pasar la corriente de aire a través de paneles húmedos, Fig. 6, o bien pulverizando agua dentro del chorro de aire de entrada, Fig. 5. Los sistemas indirectos tienen lugar a través de un intercambiador de calor, pero no nos ocuparemos de los mismos en esta Hoja Técnica.

La gráfica de la Fig. 3 ilustra los cambios termodinámicos que ocurren entre el aire y el agua en un sistema directo. El agua recirculada que humecta los paneles alcanza una temperatura de equilibrio igual a la temperatura húmeda del aire de entrada. El calor y la masa se transfieren el aire y el agua baja la temperatura seca del aire y aumenta la humedad a una temperatura húmeda constante.

El rendimiento del sistema viene expresado por la fórmula:

$$R = 100 \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t'}$$

- t<sub>1</sub> - Temp. seca del aire entrada
- t<sub>2</sub> - Temp. seca del aire salida
- t' - Temp. húmeda aire entrada

Para instalaciones de refrigeración de grandes edificaciones como invernaderos o granjas de animales se suelen disponer en todo un lateral del mismo o bien del techo, unos paneles porosos de fibra de celulosa rociados con agua por su parte alta en toda su longitud. El agua sobrante cae por gravedad y es recogida por un canalón inferior para ser recirculada. Los ventiladores se colocan en la pared opuesta extrayendo aire del local dejándolo en depresión, lo que fuerza a entrar el aire del exterior a través de los paneles húmedos.

En el mercado existen equipos compactos que en una misma caja alojan un ventilador, un panel húmedo y el equipo hidráulico necesario para bombear el agua, conducirla y regar el panel. Es el caso de la Fig. 7 que van del modelo sobremesa de 350 m³/h, pasando por el modelo de ventana hasta 7.000 m³/h para acabar en el caso de conexión a conductos hasta 30.000 m³/h. La velocidad del aire a través del panel va de los 0,5 a 1,5 m/s.

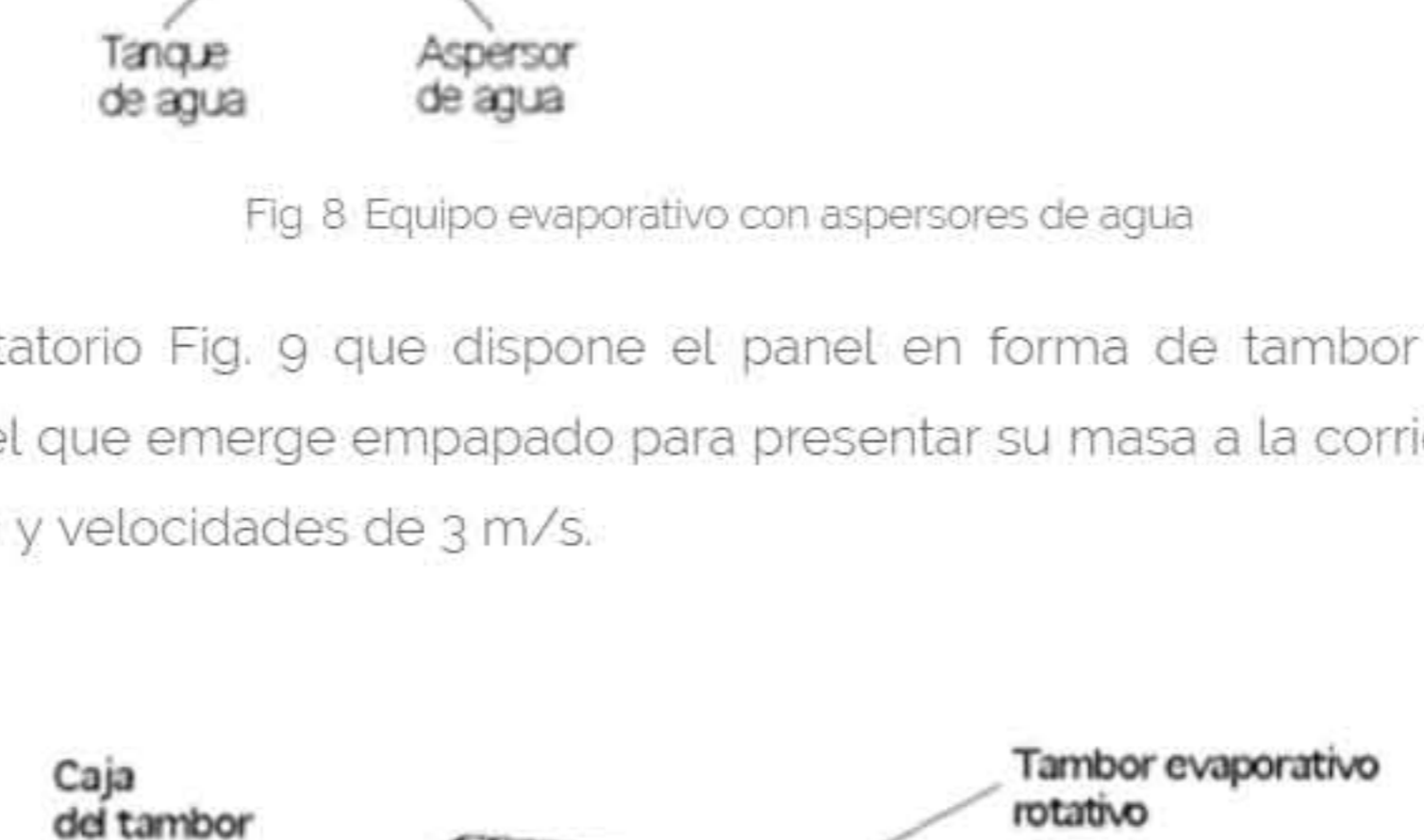


Fig 7 Equipo evaporativo completo

Otro modelo es de rociado por aspersión Fig. 8 dentro de la caja en donde se proyecta agua por unos pulverizadores contra el panel evaporativo. Es para grandes caudales que alcanzan los 60.000 m³/h con velocidades de aire de 3 m/s.



Fig 8 Equipo evaporativo con aspersores de agua

Y finalmente existe el de panel rotatorio Fig. 9 que dispone el panel en forma de tambor giratorio con una parte del mismo sumergido en un tanque de agua del que emerge empapado para presentar su masa a la corriente de aire del ventilador. Se fabrica para caudales de hasta 20.000 m³/h y velocidades de 3 m/s.



Fig 9 Equipo evaporativo con tambor rotativo