

FUNDAMENTOS

Climatización es la técnica que permite dar a un espacio las condiciones de temperatura, humedad, presión (a veces), limpieza y distribución de aire necesarias para el bienestar de las personas y/o la conservación de las cosas. La climatización pertenece al ámbito de la ingeniería mecánica porque involucra máquinas que mueven el aire, lo filtran, lo distribuyen, lo calientan o lo enfrían, lo humectan o lo deshumectan, consumen electricidad y combustibles, y usan sistemas para medición y control de distintas variables.

El arquitecto líder del proyecto de construcción y el ingeniero responsable de la climatización están obligados a comunicarse fluidamente, para lo cual, además de usar el mismo lenguaje, deben coincidir en la comprensión de las formas de funcionamiento, los efectos y las limitaciones de los procesos y los equipos climatizadores. Para unificar los conceptos básicos y que ambos profesionales se expresen en los mismos términos, se exponen a continuación —en forma muy resumida— algunos conceptos y principios de ciencias térmicas y mecánica de fluidos, cuya coincidencia en el manejo y la interpretación son vitales en la mencionada comunicación.

Sistema. Es el objeto de estudio. La edificación es el sistema cuyas condiciones ambientales deben adecuarse, lo que puede hacerse por medios naturales, artificiales, o una combinación de ambos. Para propósitos de diseño, el edificio se divide en sub-sistemas, cada uno de ellos llamado cuarto (room). La mayoría de las veces puede decirse que el aire es el vehículo para calentar o enfriar el espacio (vientos naturales o corrientes impulsadas por equipos de tratamiento de aire), pero también es posible ayudarse mediante serpentines radiadores, o radiadores eléctricos, o circuitos insertos en muros, pisos y techos, por los que circula agua fría o caliente.

Inercia térmica. La inercia se describe en general como la incapacidad de un cuerpo para variar su estado de movimiento o de reposo; la inercia térmica es, entonces, la dificultad que se experimenta para cambiar la temperatura de un sistema. Evidentemente, las inercias están relacionadas con la mayor

o menor masa del sistema. Como en un edificio se tienen del orden de 100 a 150 kg de estructuras por cada kg de aire, es claro que la inercia térmica del edificio es muy grande, mientras que la del aire es pequeña.

Conservación de la energía. La ley de la conservación de la energía, o primera ley de la termodinámica, enseña que la energía no se puede crear ni destruir. El calor (energía térmica) que entra o es generado dentro de un sistema hace que se incrementen su energía interna y su temperatura, pero si lo que se desea es que la temperatura baje o se mantenga constante es necesario evacuar calor a una tasa igual o mayor. Como se dijo, los vehículos para hacer tal remoción en un edificio son, normalmente el aire y agua corriente, en menor proporción. En invierno se trata de aportar calor al edificio, para lo cual se emplean los mismos vehículos o radiadores eléctricos.

Estado estable o estado permanente. En concordancia con lo anterior, en el balance de energía, si la suma del calor que entra más el que se genera es igual al calor que sale, la temperatura del sistema permanece constante; a este primer caso se le denomina estado estable o permanente. Si, en cambio, en el balance no se cumple la igualdad, la temperatura subirá o bajará. A este segundo caso se le denomina estado inestable o transitorio. Debido a su enorme masa, un edificio al que se le practica climatización controlada mantiene su temperatura o la cambia lentamente; por tanto, generalmente se considera como sistema en estado permanente. El aire, en cambio, teniendo una masa insignificante, puede cambiar su temperatura rápidamente. Al margen se puede añadir que, y esto es muy relevante en el diseño, si en un área habitada se tienen condiciones de temperatura o humedad variables de un sitio a otro, o inestables en períodos cortos, seguramente no hay confort.

Calor sensible y calor latente. El calor sensible es el que está asociado con un cambio de temperatura (p.e., calentamiento de agua en un calentador solar), y el calor latente es el que está asociado a un cambio de fase (p.e., la condensación de agua en un serpentín de aire acondicionado). Para complementar estas ilustraciones: en el caso de un muro soleado es visible su aumento de temperatura, por lo cual la radiación térmica recibida se clasifica como calor sensible; en cambio, en el caso del sudor que se evapora sobre la piel, el calor absorbido por el sudor en su proceso de evaporación es un calor latente. Debe tenerse en cuenta que en este último caso ese calor latente ha sido aportado por la piel, ya que la sudoración es un mecanismo natural del cuerpo humano para refrescarse.

Mecanismos de transferencia de calor. El calor se transmite siempre desde un sistema con alta temperatura a otro con baja temperatura. Ocurre mediante

tres distintas maneras, todas ellas de gran importancia en la climatización: conducción, convección y radiación.

Conducción es la forma como fluye el calor en un medio sólido o entre dos sólidos en contacto (muy rara vez en fluidos). La energía se transmite por comunicación molecular directa sin desplazamiento de las moléculas. La propiedad que determina la rapidez de esta transferencia se llama conductividad; si un medio tiene baja conductividad se conoce como material aislante.

Convección es la forma corriente de transferencia calórica entre sólidos y fluidos; en este proceso se combinan conducción, almacenamiento de energía y movimiento de masa. Es el caso que ocurre, p.e., entre una superficie sólida caliente y un gas frío: inicialmente el calor fluye por conducción desde la pared hacia las partículas fluidas adyacentes haciendo que aumenten su temperatura y su movilidad (velocidad media); después estas se desplazan hacia las regiones frías provocando mezcla y transferencia energética a otras partículas. Cuando el fluido es impulsado por medios mecánicos (bombas, ventiladores, compresores), se denomina convección forzada; cuando el fluido se mueve solo impulsado por fuerzas naturales (diferencia de densidad por diferencia de temperaturas), se denomina convección natural.

Radiación es la forma como se transmite calor entre cuerpos separados por un espacio que incluso puede ser el vacío. Por ejemplo, es la manera como nos llega calor del sol. El nombre proviene del hecho de que el calor viaja de un cuerpo a otro en forma de ondas electromagnéticas.

Todo cuerpo emite “radiación térmica” en forma continua, y la cantidad emitida depende de su temperatura superficial, su área y una propiedad superficial llamada emisividad. Se conocen como cuerpos negros ideales los que más emiten radiación a cualquier temperatura y se les asigna emisividad igual a 1 (uno); las superficies reales emiten menos, y su emisividad es menor que 1 (uno).

Todo cuerpo está sometido a radiaciones térmicas incidentes, provenientes de los cuerpos que lo pueden “ver”, y cuando esas ondas electromagnéticas inciden sobre su superficie ocurre que algunas se reflejan, algunas atraviesan el cuerpo y el resto se absorbe. Si el cuerpo es “opaco” no es atravesado por la radiación; p.e., un muro es opaco, pero un vidrio no. El porcentaje de radiación incidente reflejada por una superficie se llama “reflectividad”; el porcentaje de radiación incidente absorbida por una superficie se llama “absortividad”. En climatización, la selección de materiales atendiendo estas propiedades es muchas veces la diferencia entre el éxito y el fracaso.

El Aire. Es una mezcla mecánica de unos gases ideales (nitrógeno, oxígeno, CO_2 , argón, etc.), vapor de agua y aerosoles [ver Figura 4.1]. Estos últimos no son significativos en el comportamiento termodinámico debido a su pequeña participación en el peso total, pero son de extrema importancia en lo cuanto a la higiene y la salubridad; son tratados con total detalle en el capítulo “Calidad de Aire”. El conjunto de los gases ideales se llama **aire seco**, y el conjunto total se llama **aire húmedo**. Todo aire real contiene algún porcentaje de humedad; el contenido de vapor en un aire común está por el orden del 1% de la masa total. En el aire son claves dos aspectos: sus propiedades termodinámicas (propiedades cuantitativas) y su calidad (limpieza, higiene, esterilidad). (Ver capítulo “Calidad de Aire”). Las propiedades termodinámicas se especifican siempre respecto a la unidad de masa de aire seco. En la búsqueda del confort hay que reconocer al aire como el elemento más importante (pero no el único), pues es el medio que nos rodea y con el cual se hacen los principales intercambios calóricos. Las propiedades más importantes del aire —y las más fáciles de medir— son la temperatura y la humedad relativa; si se conocen estos dos valores se pueden hallar todas las demás condiciones del aire (en general, cualquiera de estas dos propiedades es suficiente).

Temperatura bulbo seco o, simplemente, temperatura [T_{bs}]. Es la que mide un termómetro común y corriente. En ciertas circunstancias debe tenerse en cuenta que una radiación incidente sobre el termómetro puede alterar la lectura.

Temperatura bulbo húmedo [T_{bh}]. Es la que mide un termómetro cuyo bulbo o sensor está recubierto por una mecha permanentemente humedecida, sometida a una corriente de aire con velocidad entre 5 y 10 m/s (1000 y 2000 fpm). En general, la temperatura de bulbo húmedo es menor que la de bulbo seco pero jamás mayor, pues la evaporación que se da en la mecha consume energía aportada por el bulbo o sensor. En el pasado era corriente usar un conjunto de termómetros bulbo seco-bulbo húmedo para establecer el estado termodinámico del aire.

Contenido de humedad (humedad absoluta) [w]. Es la masa de agua presente en el aire real; su magnitud se da en unidades de masa de agua por unidad de masa de aire seco (normalmente en gramos de agua/ kg de aire seco).

Humedad relativa (HR%). Es la cantidad de agua realmente presente en el aire comparada con la máxima cantidad de agua que podría contener dicho aire sin variar su temperatura. Según esto, la humedad relativa se mide en términos de porcentajes (%). Si HR es 100% quiere decir que el aire contiene la máxima cantidad de agua que le es posible retener y se

llama aire saturado. Actualmente son comunes, baratos y fáciles de adquirir los instrumentos y los dataloggers para temperatura/humedad relativa.

Entalpía [h]. Es la suma total de las energías presentes en el aire; es decir, incluye tanto la entalpía del aire seco (gases ideales) como la del vapor de agua, esto es, energías sensibles y latentes. Sus unidades son kJ/kg de aire seco.

Punto de rocío [PR]. Es la temperatura a la cual debe comenzar la condensación del vapor de agua presente en el aire real. Si vamos disminuyendo paulatinamente la temperatura del aire, sería el valor al cual aparece la primera gotita de agua.

Densidad [kg/m³]. Es la masa contenida en la unidad de volumen (su inverso, el volumen específico (ν) [m³/kg], es el volumen ocupado por una unidad de masa). Como el aire se puede considerar un gas ideal, su densidad depende mucho de la presión a la que está sometido, es decir, de la presión atmosférica.

Aire saturado. Es el aire cuyo contenido de humedad es el máximo posible. Ello significa que su temperatura de bulbo seco es igual a su temperatura de bulbo húmedo y también igual a su temperatura de punto de rocío; además, que su humedad relativa es 100% y que si baja su temperatura entonces parte del vapor de agua se condensará. Un aire saturado no tiene capacidad de absorber humedad.

Aire estándar. Es el aire cuya densidad es 1.2 kg/m³. Un ejemplo de aire estándar es el aire a 20°C a nivel del mar. Es un concepto muy importante en el manejo del aire porque los catálogos tienen esta base; ignorar lo anterior es causa frecuente de graves errores en la selección de ventiladores y equipos climatizadores.

Presión positiva, presión negativa y presión diferencial. Cuando la presión del aire ambiente de un espacio es mayor que la atmosférica hablamos de presión positiva; por cualquier abertura se escapará aire del espacio hacia afuera. En caso de que la presión sea menor que la atmosférica se llama presión negativa, y por las rendijas se filtrará aire hacia adentro. Cuando se comparan las presiones de dos espacios adyacentes, si son distintas se dice que existe allí una presión diferencial (p.e., entre la entrada y la salida de un filtro). Cualquiera de los tres casos mencionados puede lograrse mediante disposición de ventiladores mecánicos. Están disponibles, a buen precio, manómetros diferenciales manuales o fijos que permiten conocer el signo y la magnitud de estos parámetros.

Esclusas. Son espacios diseñados para impedir los ingresos (o salidas) de aire indeseables a (o desde) un cuarto. Se implementan mediante una combinación de puertas y sistemas de ventilación mecánica.

La carta sicrométrica. Las propiedades cuantitativas del aire se muestran en un sencillo gráfico llamado carta sicrométrica. Como ya se dijo, solo es necesario conocer —o medir— dos propiedades del aire (p.e., temperatura y humedad relativa) para situarse en la carta y leer las demás. La Figura 1.1 ilustra cómo, situados en un punto, se pueden leer, en el eje horizontal, la temperatura de bulbo seco, T_{bs} ; en el eje vertical, el contenido de humedad, w ; en el eje diagonal, hacia la izquierda, entalpía h y temperatura bulbo húmedo T_{bh} ; en la línea inclinada, casi vertical, el volumen específico v ; en la curva, la humedad relativa HR; y trasladándose horizontalmente a la izquierda hasta la última curva, la saturación punto de rocío PR. Las líneas de entalpía y bulbo húmedo son tan próximas que, en la práctica, tienen una sola representación gráfica.

Una carta sicrométrica es válida a la altura (presión atmosférica) para la que fue manufacturada. Si la carta viene en formato duro (papel) hay que asegurarse que es la apropiada. Si se usa una carta electrónica, al desplegarla en el computador lo primero que debe hacerse es establecer (“*setear*”) la altura (o presión atmosférica) y el rango de temperatura con el que se va a trabajar; situando el cursor en un punto, en la ventana aparecen todos los valores de las distintas propiedades.

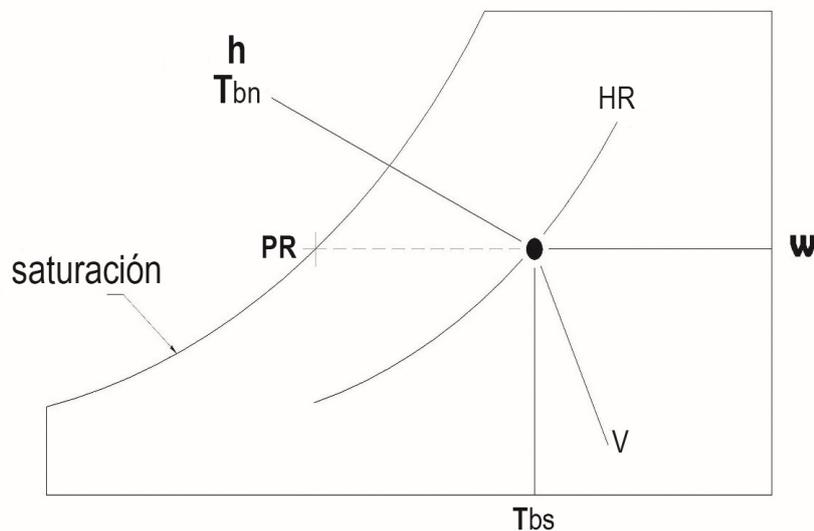


Figura 1.1. Lectura de un estado termodinámico del aire en la carta sicrométrica.

Los procesos sicrométricos. Son los procesos por medio de los cuales se cambian las propiedades del aire, es decir, sus transformaciones. Para climatización los más relevantes son:

Mezcla. Cuando dos corrientes de aire, A y B, se combinan, se obtiene una corriente de salida, C, cuyas propiedades se pueden determinar

gráficamente como se ve en la Figura 1.2. Se unen los puntos A y B y se fracciona el segmento según las proporciones máxicas de cada corriente en el flujo total [kg/s]. Las propiedades del flujo saliente son, por supuesto, más parecidas a las del flujo mayor.

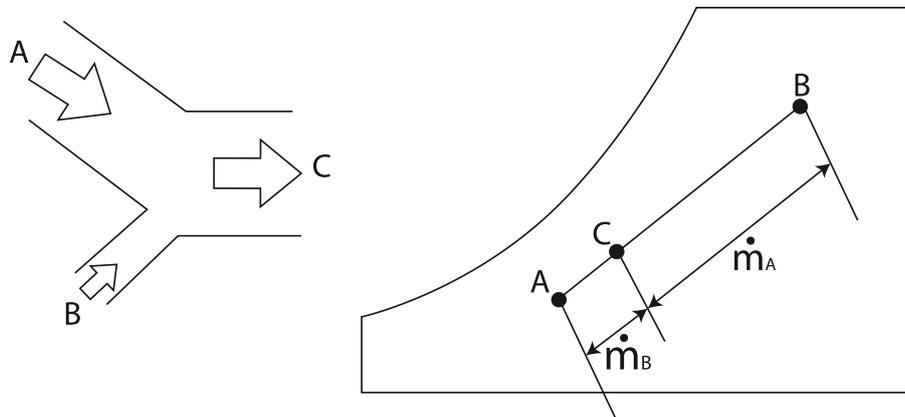


Figura 1.2. Representación y solución gráfica de la mezcla de dos caudales de aire.

Calentamiento sensible. Ocurre cuando una corriente de aire A se pone en contacto con una superficie caliente (p.e., un serpentín de vapor o unas resistencias eléctricas) con temperatura superficial promedio T_B , (Figura 1.3). Se modela considerando que una buena parte del aire A logra salir a temperatura del serpentín, mientras el resto no experimenta cambio; se mezclan las dos corrientes y a la salida la temperatura es T_C . La trayectoria es horizontal, pues el contenido de humedad original no experimenta cambio. La fracción de caudal que pasa sin cambios se denomina “factor de bypass del serpentín (BF)”, valor que depende de la configuración geométrica del serpentín (# de filas, aletas por pulgada) y es un parámetro que aparece en los catálogos.

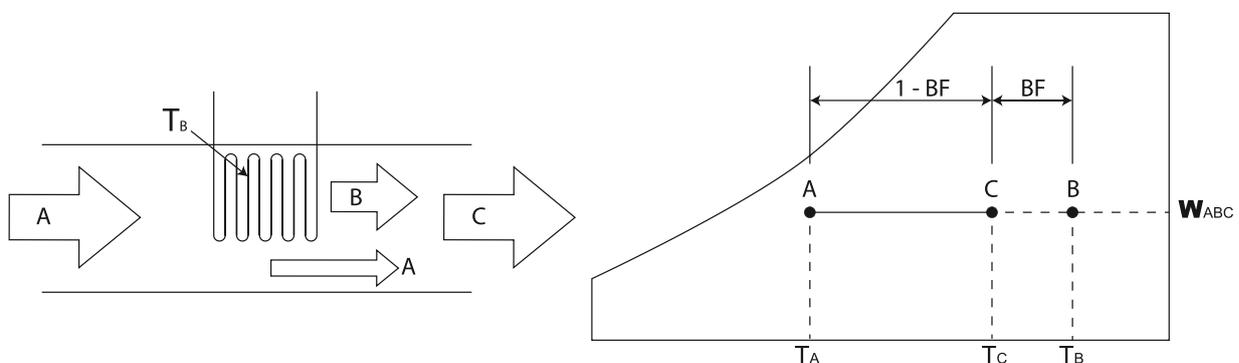


Figura 1.3. Representación gráfica del calentamiento sensible de una corriente de aire.

Enfriamiento sensible. Es el proceso exactamente inverso al de calentamiento sensible, y operan en él los mismos elementos de análisis (temperatura media del serpentín, factor de bypass BF, humedad absoluta constante, etc.). Solo es importante señalar que este proceso ocurre siempre y cuando la temperatura media superficial sea más alta que el punto de rocío (Ver Figura 1.4).

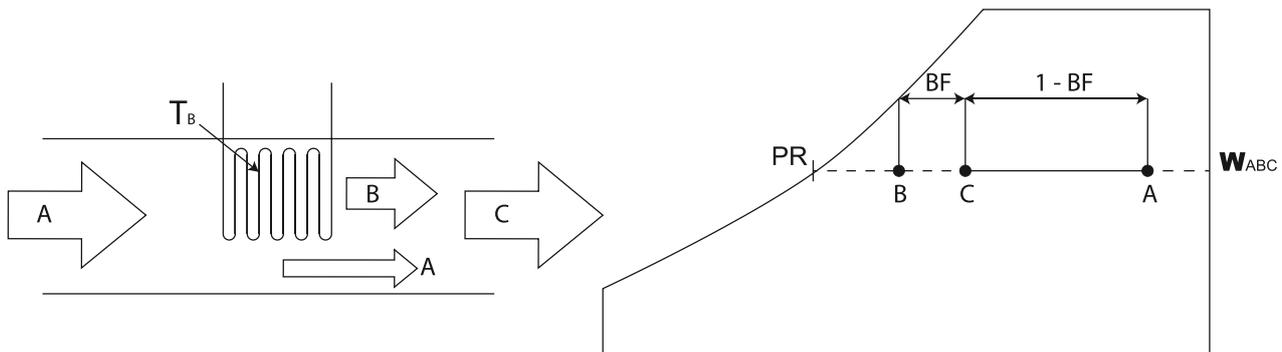


Figura 1.4. Representación gráfica del enfriamiento sensible de una corriente de aire.

Enfriamiento con deshumectación. Ocurre cuando la temperatura media superficial del serpentín es menor que el punto de rocío, y se le llama adp (apparatus dew point). Igual que en los otros análisis, una parte menor pasa sin cambios (la baypaseada) y la parte mayor logra salir a condiciones adp. El proceso seguido por esta fracción comienza con un enfriamiento sensible hasta su punto de rocío, y luego sigue bajando su temperatura hasta el valor adp; en esta última parte del proceso una porción de su humedad se condensó. Antes de salir definitivamente se mezcla con el caudal “baypaseado” (Ver Figura 1.5). Este es el proceso que ocurre en los serpentines de aire acondicionado, por lo que siempre se observa en ellos salida de condensado.

Enfriamiento evaporativo. Sucede cuando una corriente de aire es obligada a atravesar una cortina de agua (o un medio húmedo), lo que provoca que parte del agua se evapore y se incorpore al aire circulante (Ver Figura 1.6). Como la energía consumida en la evaporación proviene del mismo aire, se obtiene un descenso de temperatura; el aire sale entonces más frío y más húmedo. También es visible que al no existir aportes de energía desde el exterior, el fenómeno se da a entalpía constante. Si la cortina de agua es suficientemente extensa el aire saldrá saturado a temperatura de bulbo húmedo. El enfriamiento evaporativo, o humectación adiabática, es el único proceso natural donde se baja la temperatura del aire.

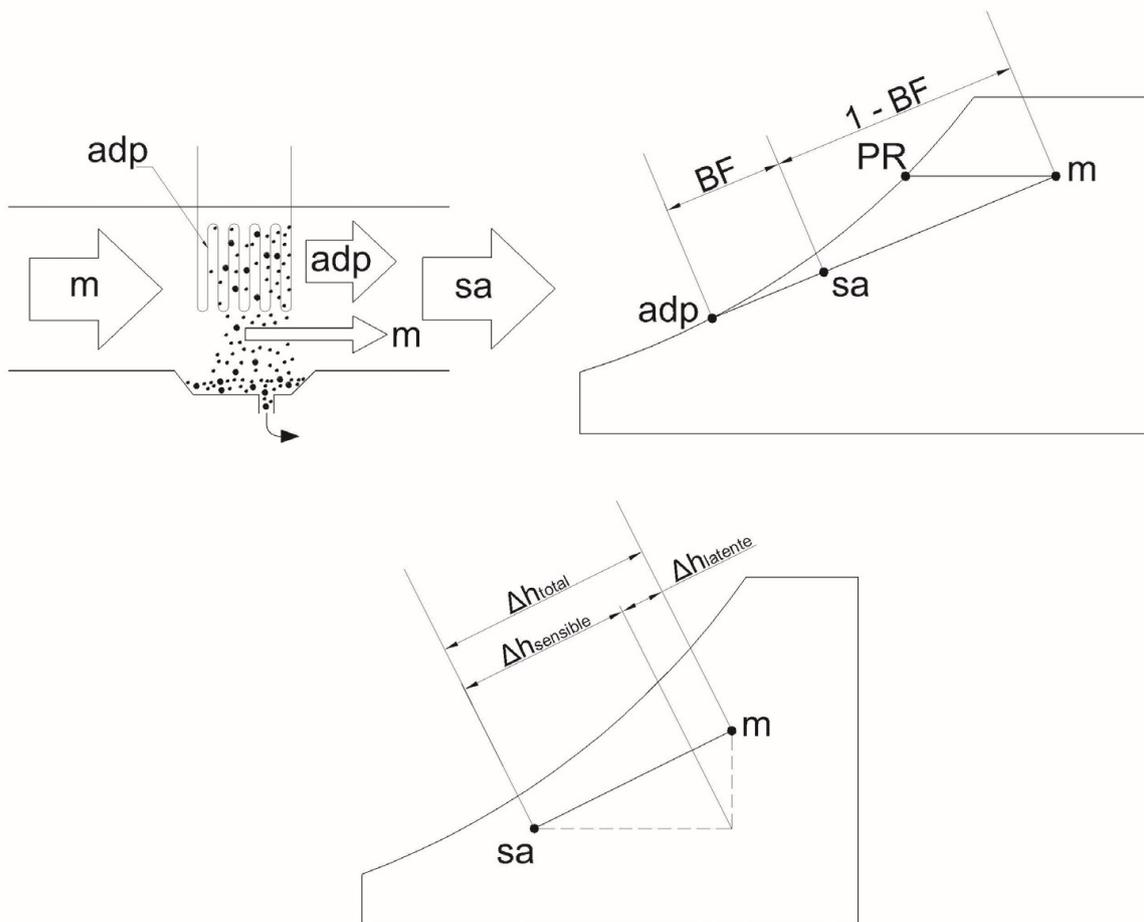


Figura 1.5. Representación gráfica del enfriamiento con deshumectación de una corriente de aire.

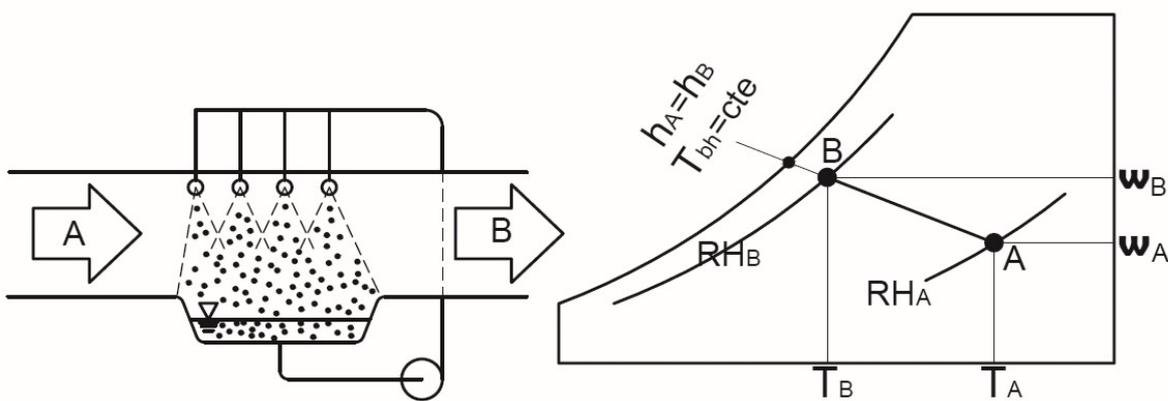


Figura 1.6. Representación gráfica del enfriamiento evaporativo de una corriente de aire.

