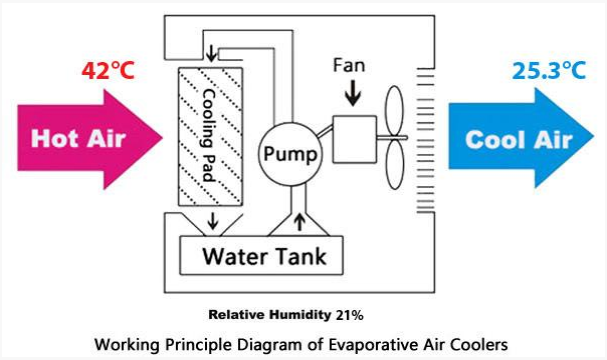
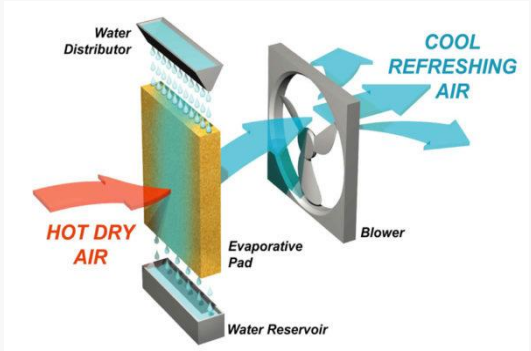
Lecture - 18 -

Evaporative cooling systems

Q1/How does an evaporative air cooler works?

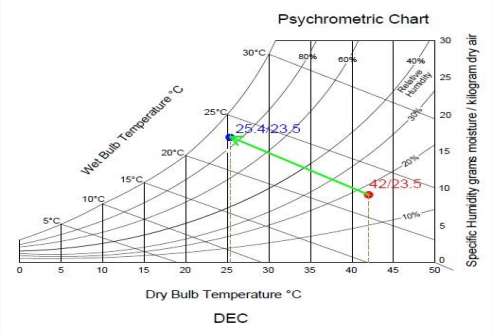


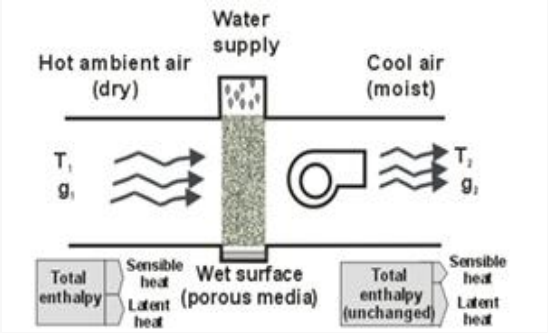
Working Principle Diagram of Evaporative Air Coolers



An evaporative air cooler works on the principle of evaporation of water. When water and hot air come into contact, the water evaporates. Each EVAPOLER cooler contains large cooling pads. A special water distribution system uniformly spreads water over the surface of the pad, to keep the entire air contact surface thoroughly wetted. As the hot air passes through the wet pads the water absorbs some of the heat as it evaporates. The beautifully cooled fresh air is then delivered into the building.

تعمل مبردة الهواء التبخيرية على مبدأ تبخر الماء . عندما يتلامس الماء مع الهواء الساخن، يتبخر الماء . كل مبردة (EVAPOLER) تحتوي على وسادات (pads) تبريد كبيرة. يقوم نظام توزيع الماء الخاص بنشر الماء بشكل موحد على سطح الوسادة ، للحفاظ على سطح التلامس مبللًا مع الهواء. عندما يمر الهواء الساخن عبر الوسادة المبللة ، يمتص الماء بعض الحرارة أثناء تبخره. ثم يتم دفع الهواء النقي المبرد عن طريق المروحة إلى المبنى.





Q2/ What are the difference between evaporative cooling system and A/C system?

1- **Less energy consumption** It only has two major components which need powering; a water pump and a fan. A water pump is needed to keep the pads wet and fan moves the cold air to space.

استهلاك أقل طاقة

2-There is no need to shut doors and windows because the process is natural cooling. When doors & windows are left open, it works more efficiently.

ليست هناك حاجة لإغلاق الأبواب والنوافذ لان العملية تبريد طبيعي.

3-Evaporative system has **less cost** than that for A/C system that will cool the same sized area.

المبرد التبخيري أقل تكلفة من نظام التكييف الذي يبرد نفس المساحة

4-Evaporative air cooler require **very little space** for installation

مبردة الهواء التبخيرية تتطلب **مساحة صغيرة جدًا للتركيب**

5-Evaporative air cooler **contain no harmful refrigerants** for environment. Many of the gases used in refrigerated air conditioning are potent greenhouse gases like hydrofluorocarbons or chlorofluorocarbons which deplete the ozone layer.

مبردة الهواء التبخيرية لا تحتوي على موائع تثليج ضارة للبيئة. العديد من موائع التثليج المستخدمة في تكييف الهواء هي غازات دفيئة قوية مثل الهيدروفلوروكربون أو مركبات الكربون الكلورية فلورية التي تستنفد طبقة الأوزون

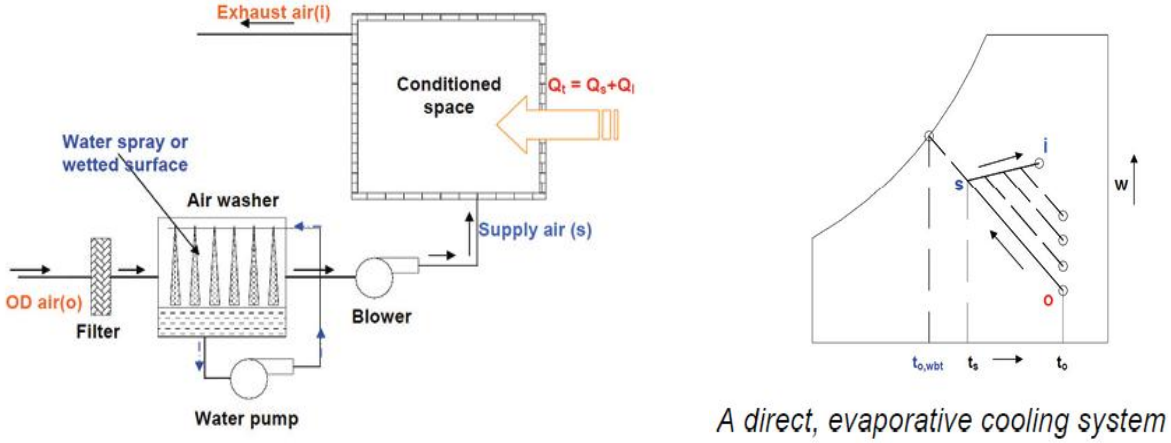
Q3/ What are the types of evaporative cooling systems?

1. Direct evaporative cooling systems:

In direct evaporative cooling, the process or conditioned air comes in direct contact with the wetted surface, and gets cooled and humidified. As shown in the figure 3, hot and dry outdoor air is first filtered and then is brought in contact with the wetted surface or spray of water droplets in the air washer. The air gets cooled and dehumidified due to simultaneous transfer of sensible and latent heats between air and water (**process o-s**). The cooled and humidified air is supplied to the conditioned space, where it extracts the sensible and latent heat from the conditioned space (**process s-i**). Finally the air is exhausted at state i. In an ideal case when the air washer is perfectly insulated and an infinite amount of contact area is available between air and the wetted surface, then the cooling and humidification process follows the constant wet bulb temperature line and **the temperature at the exit of the air washer is equal to the wet bulb temperature of the entering air ($t_{o,wbt}$),** i.e., the process becomes an adiabatic saturation process. However, in an actual system the temperature at the exit of the air washer will be higher than the inlet wet bulb temperature due to heat leaks from the surroundings and also due to finite contact area. One can define the saturation efficiency or effectiveness of the evaporative cooling system ε as:

$$\varepsilon = \frac{(t_o - t_s)}{(t_o - t_{o,wbt})}$$

في التبريد التبخيري المباشر ، الهواء المكيف يكون في تماس مباشرًا مع السطح المبلل حيث يتم تبريده وترطيبه . كما هو مبين في الشكل ، يتم تنقية الهواء الخارجي الساخن والجاف أولاً ثم بعد ذلك يتم ملامسته للسطح المبلل أو رذاذ قطرات الماء في غسالة الهواء. يتم تبريد الهواء وتجفيفه من الرطوبة بسبب النقل المتزامن للحرارة المعقولة والكامنة بين الهواء والماء (عملية o-s).يتم توفير الهواء المبرد والمرطب إلى المساحة المكيفة ، حيث يستخرج الحرارة المحسوسة والكامنة من المساحة المكيفة (عملية s-i). في حالة مثالية عندما تكون غسالة الهواء معزولة تم امًا وتتوفر مساحة غير محدودة من منطقة التلامس بين الهواء والسطح المبلل ، فإن عملية التبريد والترطيب تتبع خط درجة حرارة البصلة الرطب الثابت ودرجة الحرارة عند خروج غسالة الهواء تساوي درجة حرارة البصلة الرطب للهواء الداخل، أي تصبح العملية عملية تشبع ثابت الحر ارة. ومع ذلك ، في النظام الفعلي ، ستكون درجة الحرارة عند خروج غسالة الهواء أعلى من درجة حرارة البصلة الرطب الداخل بسبب تسرب الحرارة من المناطق المحيطة وأيضًا بسبب منطقة التلامس المحدودة.

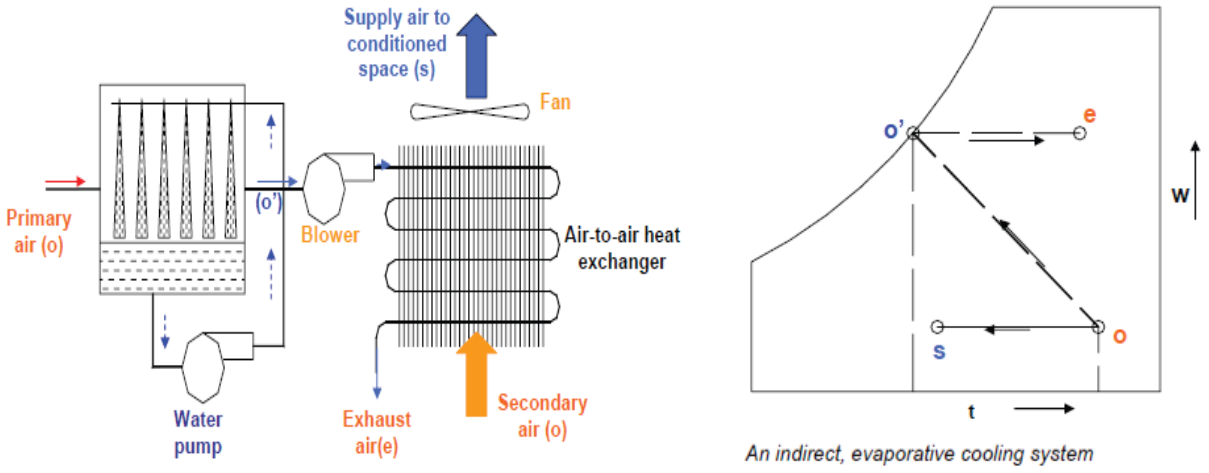


A direct, evaporative cooling system

2. Indirect evaporative cooling system:

In an indirect evaporative cooling process, two streams of air - primary and secondary are used as shown in the figure 4. The primary air stream becomes cooled and humidified by coming in direct contact with the wetted surface (**o-o'**), while the secondary stream which is used as supply air to the conditioned space, decreases its temperature by exchanging only sensible heat with the cooled and humidified air stream (**o-s**). Thus the moisture content of the supply air remains constant in an indirect evaporative cooling system, while its temperature drops. Obviously, everything else remaining constant, the temperature drop obtained in a direct evaporative cooling system is larger compared to that obtained in an indirect system, in addition the direct evaporative cooling system is also simpler and hence, relatively inexpensive. However, since the moisture content of supply air remains constant in an indirect evaporation process, this may provide greater degree of comfort in regions with higher humidity ratio. The commercially available indirect evaporative coolers have saturation efficiency as high as 80%.

في عملية التبريد التبخيري غير المباشر ، يتم استخدام تيارين من الهواء - أولي وثانوي كما هو موضح في الشكل ٤. يصبح تيار الهواء الأساسي مبردًا ومرطبًا عن طريق التلامس المباشر مع الس طح المبلل (o-o') ، بينما يعمل التيار الثانوي الذي يستخدم كمجهز للهواء إلى الحيز المكيف على خفض درجة حرارته عن طريق تبادل الحرارة المحسوس فقط مع تيار الهواء البارد والمرطب (o-s). وبالتالي فإن محتوى الرطوبة في هواء المجهز يظل ثابتًا ($w_s=w_o$) في نظام التبريد التبخيري غير المباشر عند انخفاظ درجة حرارته. من الواضح ، أن كل شيء يبقى ثابتًا ، فإن انخفاض درجة الحرارة الذي تم الحصول عليه في نظام التبريد التبخيري المباشر أكبر مقارنةً بتلك التي تم الحصول عليها في نظام غير مباشر ، بالإضافة إلى أن نظام التبريد التبخيري المباشر هو أيضًا أبسط وبالتالي فهو غير مكلف نسبيًا. ومع ذلك ، نظرًا لأن محتوى الرطوبة في هواء التجهيز يظل ثابتًا في عملية التبخر غير المباشرة ، فقد يوفر ذلك درجة أكبر من الراحة في المناطق ذات نسبة الرطوبة العالية. في المبردات التبخيرية غير المباشرة الحديثة . المبردات التبخيرية غير المباشرة المتاحة تجارياً لها كفاءة تشبع تصل إلى ٨٠٪.

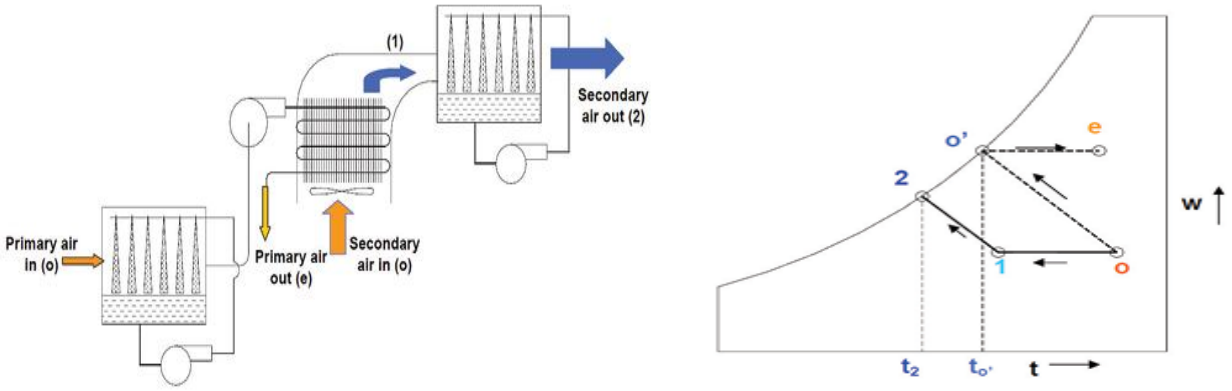


An indirect, evaporative cooling system

3. Multi-stage evaporative cooling systems:

As shown in the figure 6, in the first stage the primary air cooled and humidified (**o - o'**) due to direct contact with a wet surface cools the secondary air sensibly (**o -1**) in a heat exchanger. In the second stage, the secondary air stream is further cooled by a direct evaporation process (**1-2**). Thus in an ideal case, the final exit temperature of the supply air (t_2) is several degrees lower than the wet bulb temperature of the inlet air to the system (t_o').

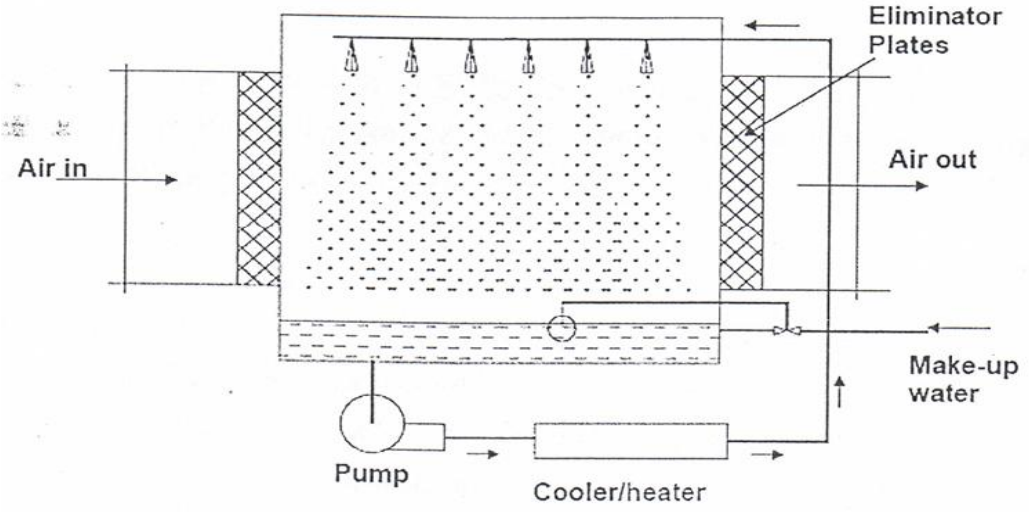
كما هو مبين في الشكل٦ ، في المرحلة الأولى ، يتم تبريد الهواء الأساسي وترطيبه (o- o ') بسبب التلامس المباشر مع سطح مبلل ، مما يبرد الهواء الثانوي بشكل محسوس (1- o) في مبادل حراري. في المرحلة الثانية ، يتم تبريد تيار الهواء الثانوي عن طريق عملية التبخر المباشر (١-٢). وبالتالي ، في الحالة المثالية ، تكون درجة حرارة الخروج النهائية لهواء التجهيز (t_2) أقل بعدة درجات من درجة حرارة البصلة الرطب للهواء الداخل إلى النظام (إلى t_o).



Note: Evaporative cooling systems are perfect in **hot and dry** places, i.e., in places where the dry bulb temperature is high and the wet bulb temperature is low.

Air washers:

An air washer is a device for conditioning air. As shown in Fig. in an air washer air comes in direct contact with a spray of water and there will be an exchange of heat and mass (water vapor) between air and water. The outlet condition of air depends upon the temperature of water sprayed in the air washer. Hence, by controlling the water temperature externally, it is possible to control the outlet conditions of air, which then can be used for air conditioning purposes.



In the air washer, the mean temperature of water droplets in contact with air decides the direction of heat and mass transfer. As a consequence of the 2nd law, the heat

transfer between air and water droplets will be in the direction of decreasing temperature gradient. Similarly, the mass transfer will be in the direction of decreasing vapor pressure gradient. For example,

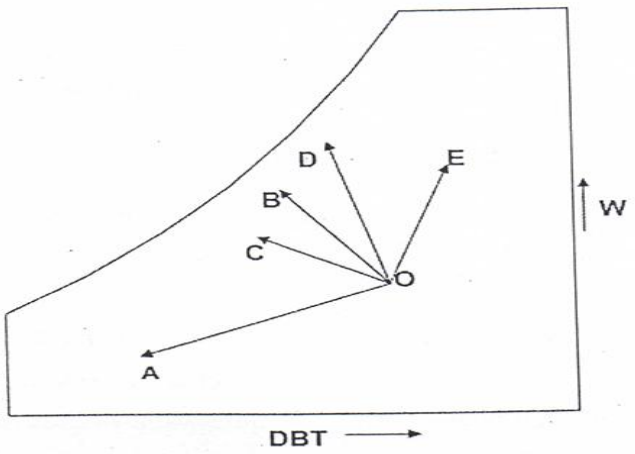
a) Cooling and dehumidification ($t_w < t_{DPT}$) Since the exit enthalpy of air is less than its inlet value, from energy balance it can be shown that there is a transfer of total energy from air to water. Hence to continue the process, water has to be externally cooled. Here both latent and sensible heat transfers are from air to water. This is shown by Process O- A in Fig.

b) Adiabatic saturation ($t_w = t_{WBT}$): Here the sensible heat transfer from air to water is exactly equal to latent heat transfer from water to air. Hence, no external cooling or heating of water is required. That is this is a case of pure water recirculation. Shown by process O-B in figure. this process that takes place in perfectly insulated evaporative cooler.

c) Cooling and humidification($t_{DPT} < t_w < t_{WPT}$): Here the the sensible heat transfer is from air to water and latent heat transfer is from water to air, but the total heat transfer is from air to water,hence,water has to be cooled externally. This is shown by Process O-C in Figure.

d) Cooling and humidification ($t_{WPT} < t_w < t_{DBT}$):Here the sensible heat transfer is from air to water and latent heat transfer is from water to air, but the total heat transfer is from water to air, hence, water has to be heated externally. This is Shown by Process C-D in Figure. This is the process that takes place in a cooling tower. The air stream extracts heat from the hot water coming from the condenser, and the cooled water is sent back to the condenser

e) Heating and humidification:($tw > t_{DBT}$): Here both sensible and latent heat transfers are from water to air, Hence, water has to be heated externally. This is shown by Process O—E in Figure.



Various psychrometric processes that can take place in an air washer

Thus, it can be seen that an air washer woks as a year—round air conditioning system. Though air washer is a and extremely useful simple device, it is not commonly used for comfort air conditioning applications due to concerns about health resulting from bacterial or fungal growth on the wetted surfaces. However, it can be used industrial applications.

Advantages

• High *COP* in the range 15-20;
• Environmental friendly system since it uses water as cooling medium;
• Reduced CO_2 and power plant emissions;
• Reduced electrical energy consumption:it requires only a quarter of the electric power of *VCC*;
• Improved indoor air quality in dry and hot climate by adding moisture to air ;
• Simple system configuration and operation;
• Have a lower initial cost compare to the *VCC* system and other air conditioning systems.

Disadvantages

• High dependence on the ambient air conditions since the driving force of both evaporative cooler is the temperature difference between the dry-bulb and wet-bulb temperatures of the process air;
• Smaller temperature reduction potential ;
• High water consumption;
• *DEC* pads need to be wetted continuously;