

# أسس تكييف الهواء

م. أسامة خياطة

[osama@khayata.com](mailto:osama@khayata.com)

# المخطط السايكرومترى

## Psychrometric Chart

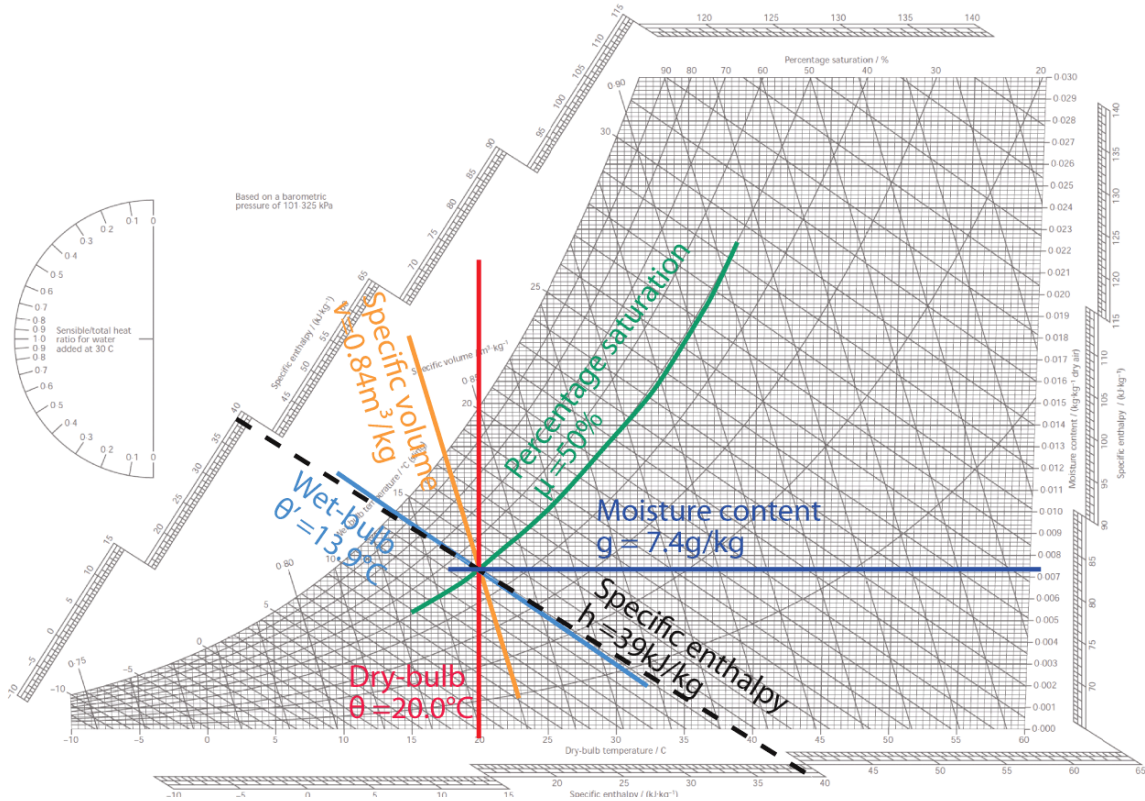
## تكييف الهواء

### مقدمة:

تكييف الهواء عبارة عن عملية التحكم بدرجة حرارة الهواء ورطوبته وحركة الهواء ونقاوته ودرجة الضجيج.

## المخطط البسايكرومترى Psychrometric Chart

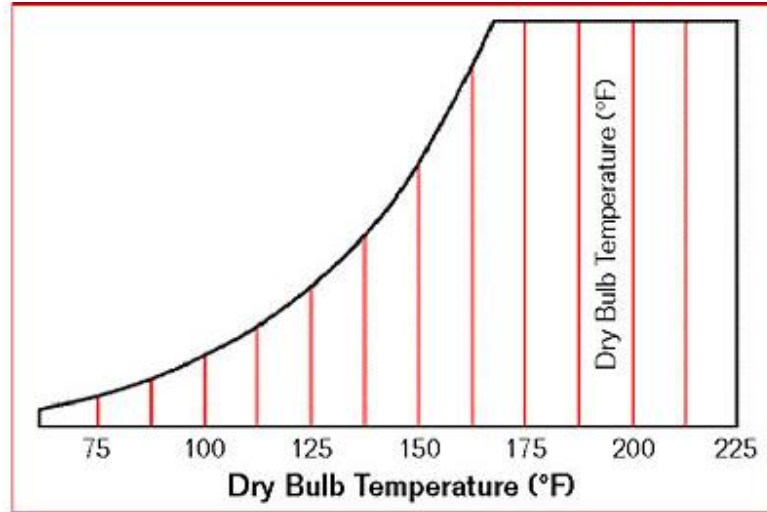
علم البسايكرومترى هو العلم الذي يدرس حالة الهواء الرطب، وتبرز أهمية هذا العلم عند تصميم نظام التكييف لتحديد درجة حرارة ورطوبة الهواء المراد تبريده أو تسخينه وكذلك لهواء الإرسال، ويتم هذا التحليل بواسطة المخطط البسايكرومترى.



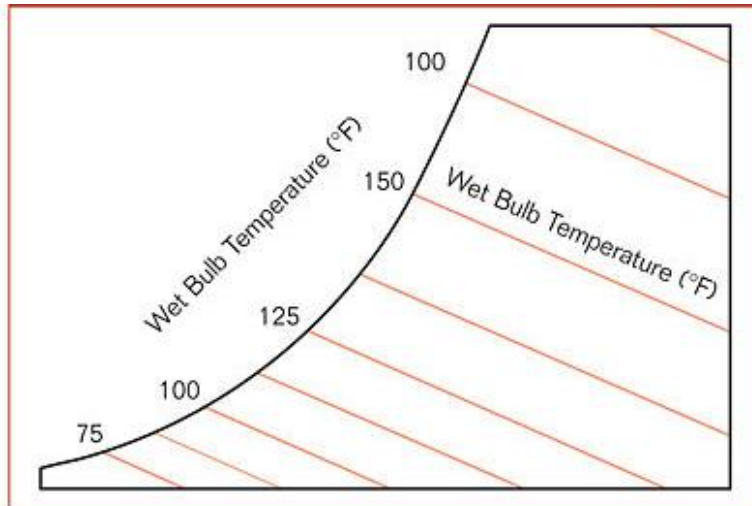
**خواص الهواء Air Properties:**

يحدد على المخطط البسايكرومترى عدة خواص فيزيائية لحالة هواء معينة وهي:

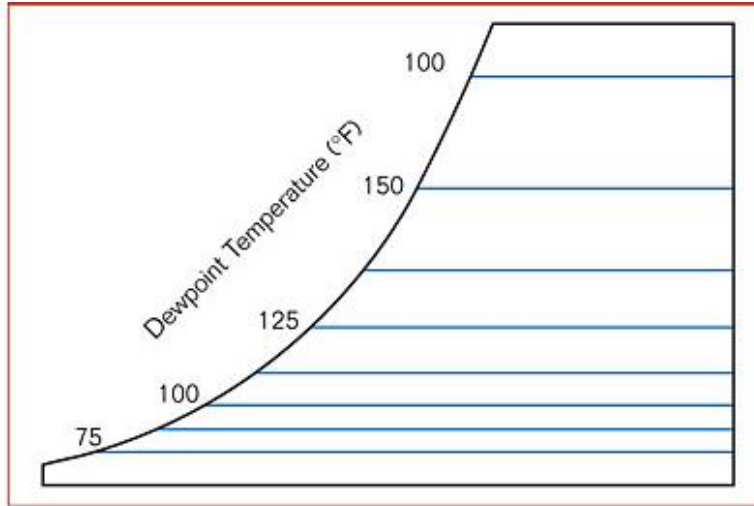
1- درجة الحرارة الجافة (Dry-Bulb Temperature (DBT): وهي درجة الحرارة التي يسجلها ميزان الحرارة العادي. وتمثل على المخطط البسايكرومترى بخطوط رأسية تتقاطع مع المحور الأفقي. وتقاس بدرجة مئوية °C أو فهرنهايت °F.



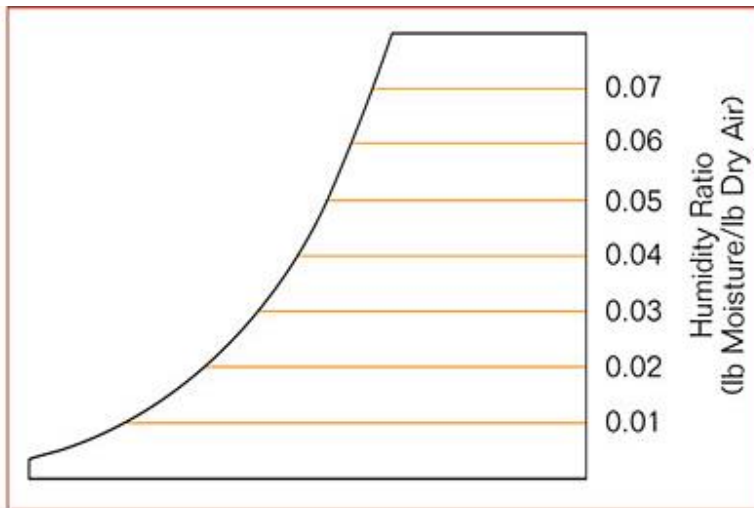
2- درجة الحرارة الرطبة (Wet-Bulb Temperature (WBT): عبارة عن أقل درجة حرارة يسجلها ميزان حرارة بصيلته مغطاة بقماشة مبللة بالماء ومعرضة لتيار هواء, وهي أقل أو تساوي درجة الحرارة الجافة, والفرق بين درجتي الحرارة الجافة والرطبة يعبر عن التأثير التبريدي بفعل تبخر الرطوبة الموجودة في القماشة المبللة, وكلما كان الهواء جافاً كان الفرق بين درجتي الحرارة الجافة والرطبة أكبر, وتمثل درجة الحرارة الرطبة لنقطة معينة على المخطط بخطوط مائلة موازية تقريباً لخطوط الانتالبي حتى التقاطع مع منحنى الإشباع. وتقاس بدرجة مئوية °C أو فهرنهايت °F.



3- نقطة الندى (Dew Point (DP): هي درجة الحرارة التي يبدأ عندها بخار الماء المتواجد في الهواء بالتكاثف. عندما تتساوى كل من درجة الحرارة الجافة والرطوبة ونقطة الندى يحدث الإشباع, وعندها لا يستطيع الهواء استيعاب أي رطوبة إضافية, وأي رطوبة إضافية تضاف للهواء تتحول إلى قطرات رذاذ, وعندها يحدث ما يسمى بالضباب, وتمثل نقطة الندى لنقطة معينة على المخطط بخطوط أفقية حتى التقاطع مع منحنى الإشباع. وتقاس بدرجة مئوية °C أو فهرنهايت °F.

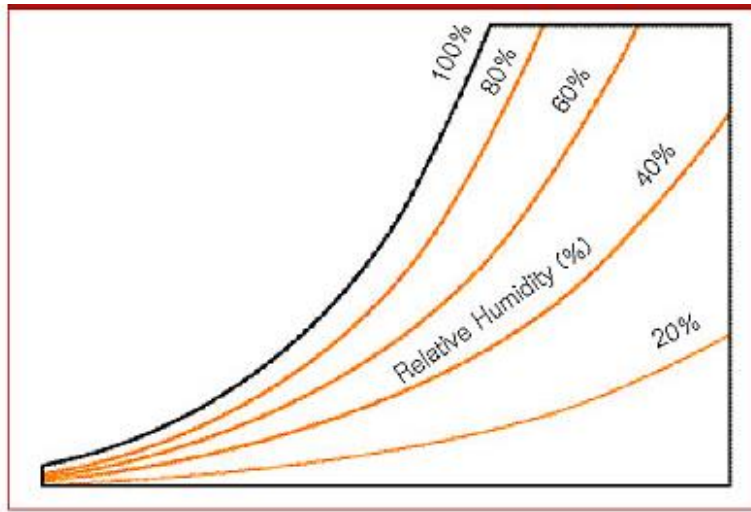


4- الرطوبة النوعية أو نسبة الرطوبة ( $\phi$ ) Humidity Ratio (Specific Humidity): عبارة عن الكتلة الفعلية لبخار الماء (الرطوبة) المتواجدة في واحدة الكتلة من الهواء الجاف, وعادة ما يعبر عنها بوحدة  $gr_w/Kg_a$  (أو بوحدة  $lb_w/lb_a$ ). وتمثل الرطوبة النوعية على المخطط بخطوط أفقية تتقاطع مع المحور الشاقولي ويرمز لها أحياناً ( $w$ ).

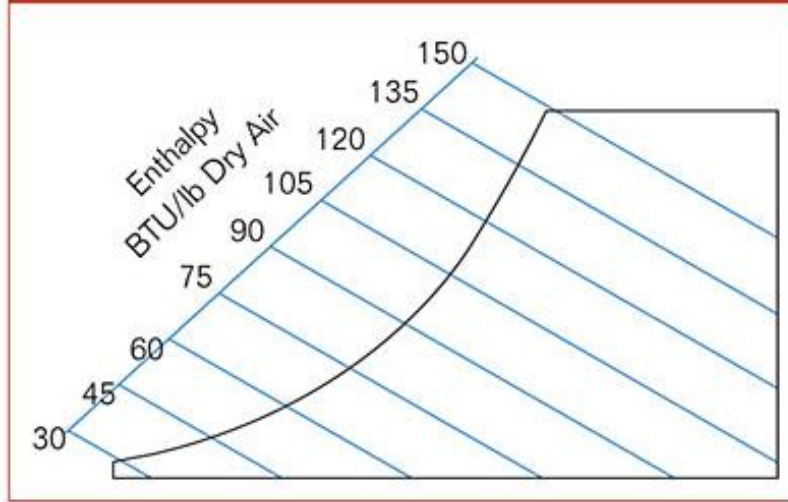


5- رطوبة الإشباع (Saturation Humidity ( $\phi_s$ ): عبارة عن أكبر كتلة رطوبة يمكن أن يحملها الهواء الجاف في واحدة الكتلة من الهواء الجاف. وتمثل على المخطط البساكرومترى بخط رأسي يتجه للأعلى حتى التقاطع مع خط الإشباع, ثم يتم قراءة قيمة رطوبة الإشباع من محور الرطوبة النوعية.

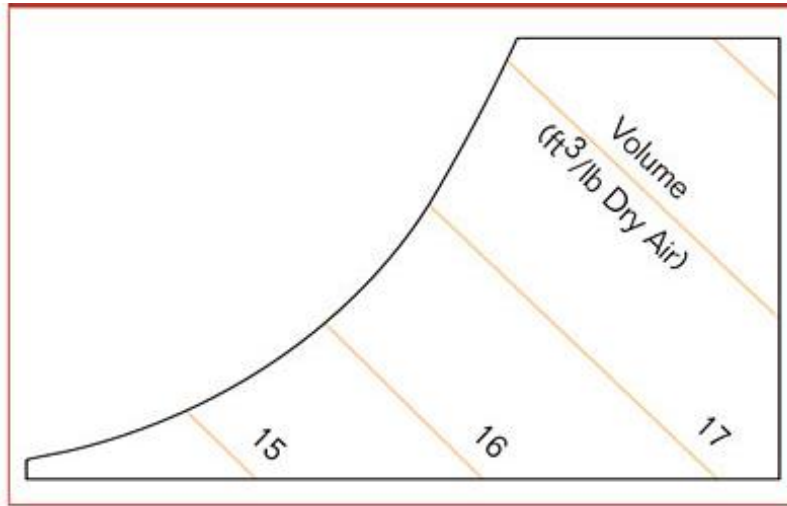
6- الرطوبة النسبية (Relative Humidity (RH): عبارة عن النسبة بين ضغط بخار الماء الفعلي في الهواء إلى ضغط بخار الماء المشبع عند نفس درجة الحرارة, ويمكن اعتبار هذه النسبة هي نفسها النسبة بين كمية الرطوبة التي يحملها الهواء عند درجة حرارة جافة معينة إلى كمية الرطوبة العظمى التي من الممكن أن يحملها عند نفس درجة الحرارة الجافة, ويعبر عنها كنسبة مئوية, أي أن:  $R.H = \phi / \phi_s$



7- الانتالبي (Enthalpy (h): عبارة عن ميزة حرارية تعبر عن كمية الحرارة الموجودة في حالة معينة في الهواء ويقاس بوحدة KJ/Kg (أو بوحدة Btu/lb), وبشكل عام لا يهمنا قيمة الانتالبي عند حالة معينة للهواء, وإنما فرق الانتالبي بين نقطتين, ويمثل الانتالبي لنقطة معينة على المخطط بخطوط مائلة تسمى خطوط الانتالبي.



8- الحجم النوعي (u) Specific Volume: عبارة عن حجم الهواء لوحدته الكتلة  $m^3/Kg$  (أو  $ft^3/lb$ ). ويمثل على المخطط بخطوط مائلة تسمى خطوط الحجم النوعي.



### ملاحظة:

يكفي لتحديد أي نقطة على المخطط السايكرومترى توفر خاصيتين من الخواص المذكورة أعلاه إلا في ثلاث حالات:

- 1- درجة الحرارة الجافة مع رطوبة الإشباع: لأن كلاهما منطبق على الخطوط الشاقولية.
- 2- درجة الحرارة الرطبة مع الانتالبي: لأن كلاهما منطبق (تقريباً) على خطوط الانتالبي.
- 3- نقطة الندى مع الرطوبة النوعية: لأن كلاهما منطبقان على الخطوط الأفقية.

## العمليات البساكرومترية Psychrometric Process:

### 1- التسخين المحسوس Sensible Heating:

يقصد بالتسخين المحسوس رفع درجة الحرارة الجافة لنقطة معينة من الهواء دون تغيير محتوى الرطوبة لهذه النقطة, وتمثل هذه العملية على المخطط البساكرومترى بخط أفقي يتجه من اليسار إلى اليمين وتؤدي هذه العملية إلى رفع درجة الحرارة الرطبة للهواء مع ثبات نقطة الندى والرطوبة النوعية لكن الرطوبة النسبية تنخفض.

يمكن الحصول على عملية تسخين محسوس عن طريق تسخين الهواء بواسطة سخان كهربائي أو وشيعة ماء ساخن أو بخار.

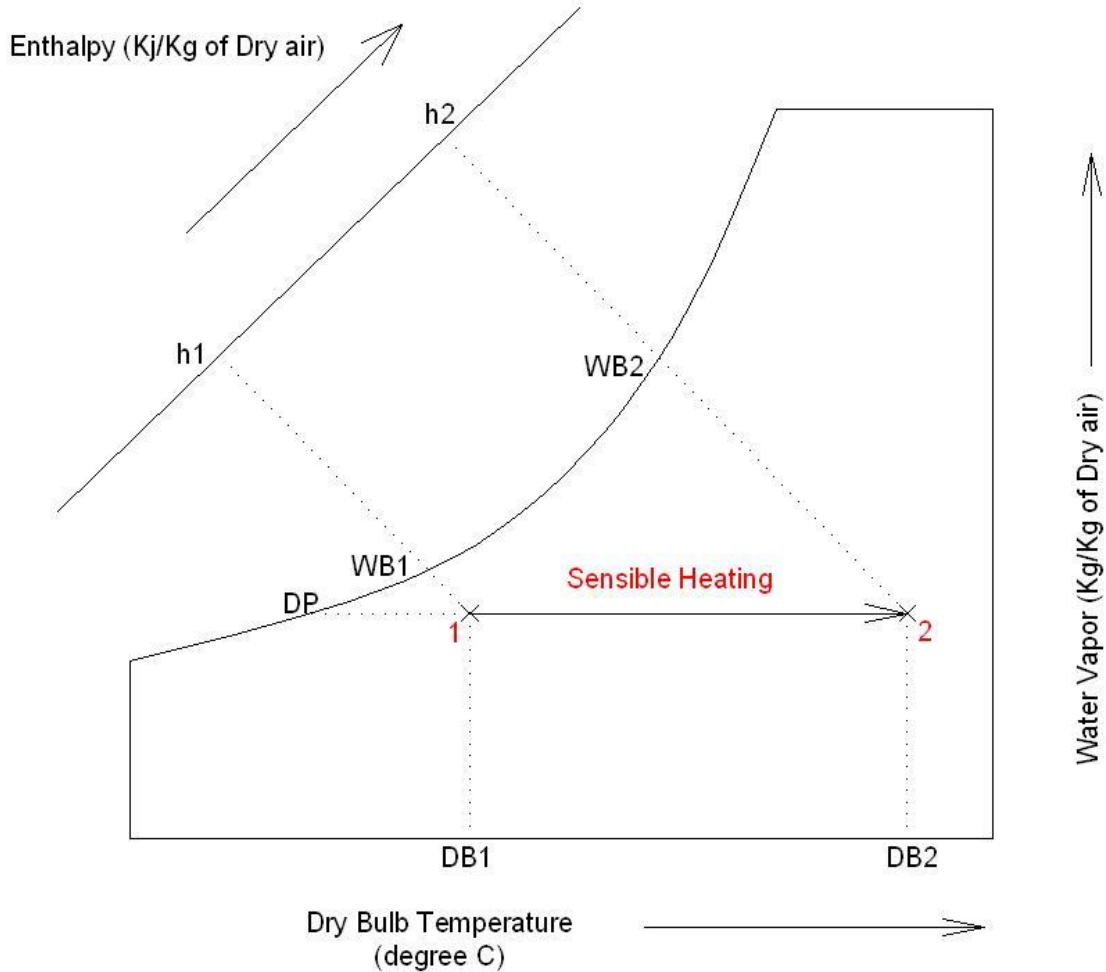
معادلة سعة ملف التسخين تعطى بالعلاقة:

$$Q_H = m_a \cdot \Delta h$$

$Q_H$  - سعة ملف التسخين, Kw

$m_a$  - التدفق الكتلي للهواء, Kg/s

$\Delta h$  - فرق انتالبي الهواء قبل الملف وبعده, Kj/Kg





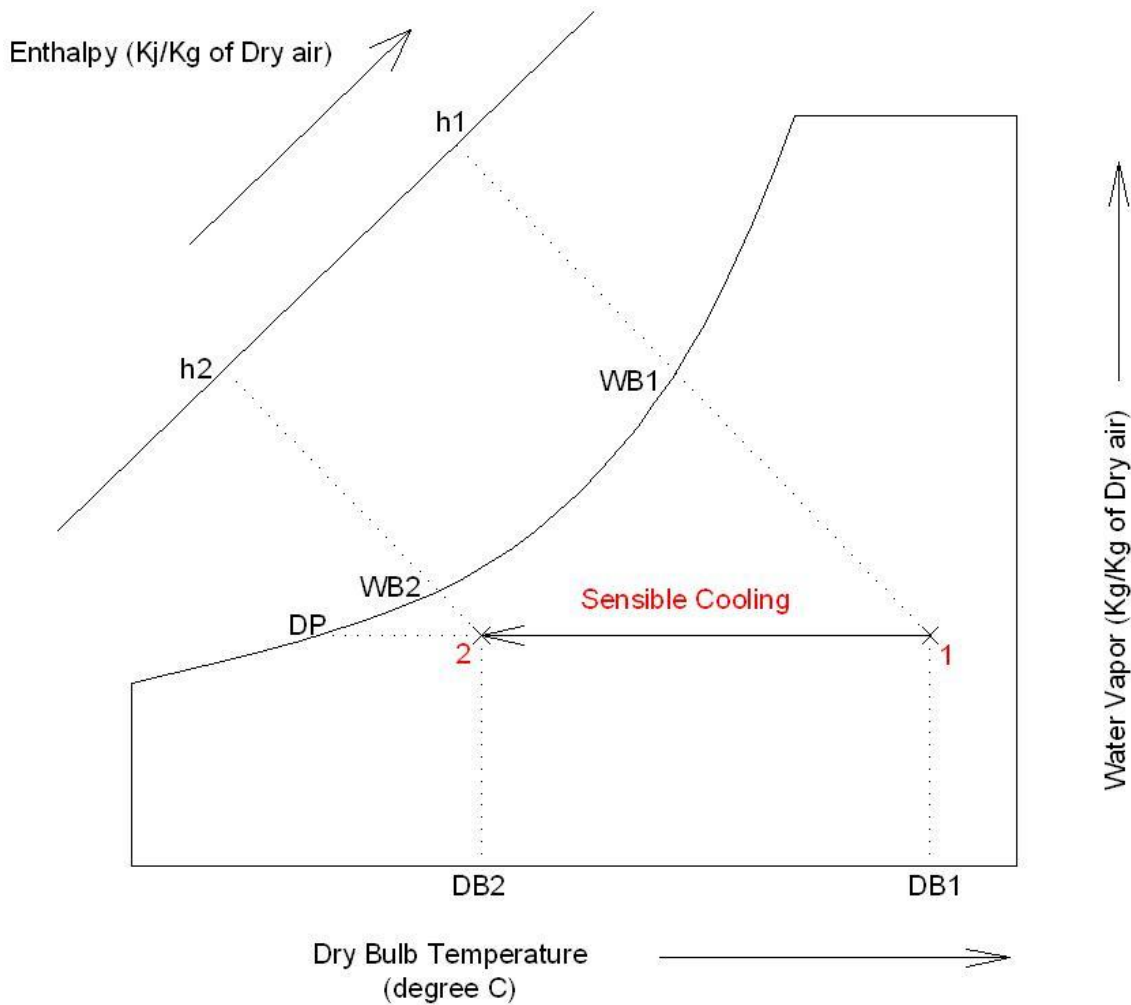
## 2- التبريد المحسوس Sensible Cooling:

يقصد بالتبريد المحسوس خفض درجة الحرارة الجافة لنقطة معينة من الهواء دون تغيير محتوى الرطوبة لهذه النقطة, وتمثل هذه العملية على المخطط البسايكرومترى بخط أفقي يتجه من اليمين إلى اليسار وتؤدي هذه العملية إلى خفض درجة الحرارة الرطبة للهواء مع ثبات نقطة الندى والرطوبة النوعية لكن الرطوبة النسبية تزداد.

يمكن الحصول على عملية تبريد محسوس عن طريق تبريد الهواء بتمريره على سطح درجة حرارته أعلى من نقطة الندى للهواء.

معادلة سعة ملف التبريد تعطى بالعلاقة:

$$Q_c = m_a \cdot \Delta h$$



## 3- الترطيب Humidification:

يقصد بترطيب الهواء زيادة محتوى الرطوبة دون تغيير درجة حرارته الجافة, وتمثل هذه العملية على المخطط البسايكرومترى بخط رأسي يتجه للأعلى, وتؤدي هذه العملية إلى زيادة الرطوبة النوعية ونقطة الندى ودرجة الحرارة الرطبة والرطوبة النسبية. ويتم ترطيب الهواء عند تغذيته ببخار ماء مشبع أو رطب درجة حرارته مساوية لدرجة الحرارة الجافة للهواء.

معادلة الاتزان الحراري لعملية الترطيب تعطى بالعلاقة:

$$m_a \cdot \Delta h = m_s \cdot L$$

ومعادلة اتزان الكتلة لبخار الماء:

$$m_s = m_a \cdot \Delta w$$

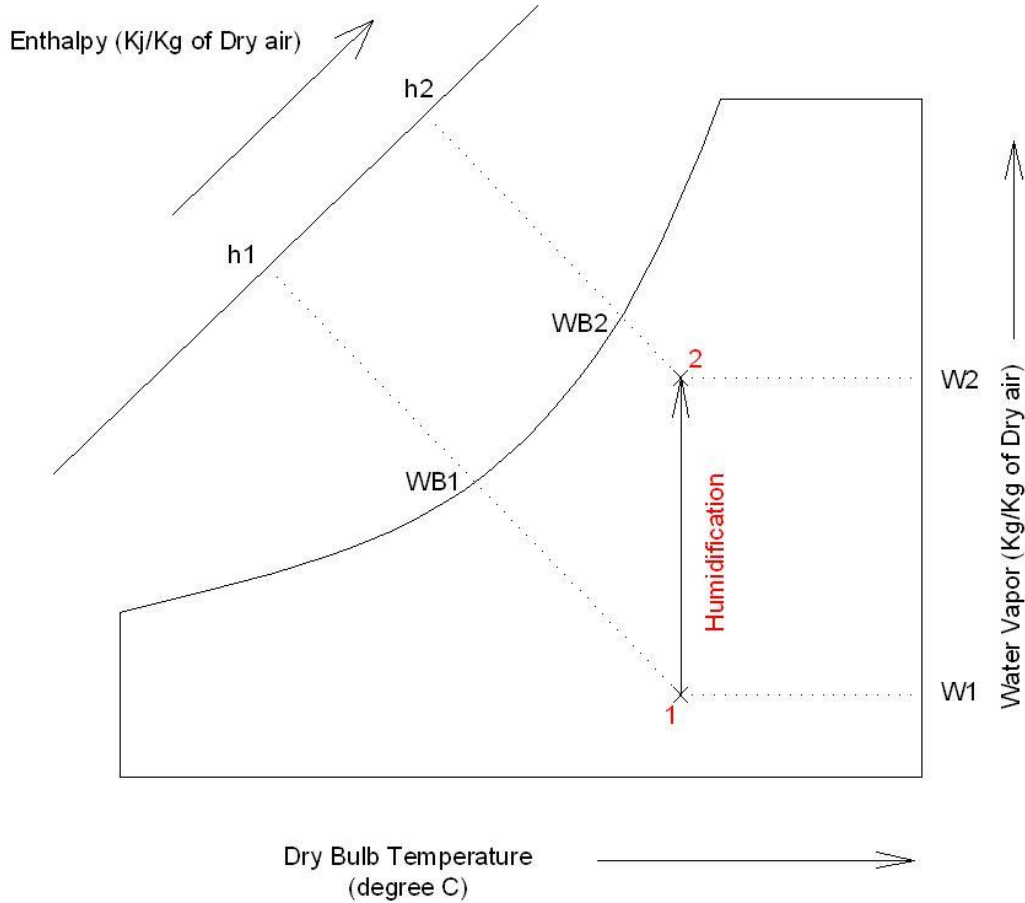
$m_a$  - التدفق الكتلي للهواء, Kg/s

$m_s$  - التدفق الكتلي لبخار الماء, Kg/s

$\Delta h$  - فرق الانتالبي قبل الترطيب وبعده, Kj/Kg

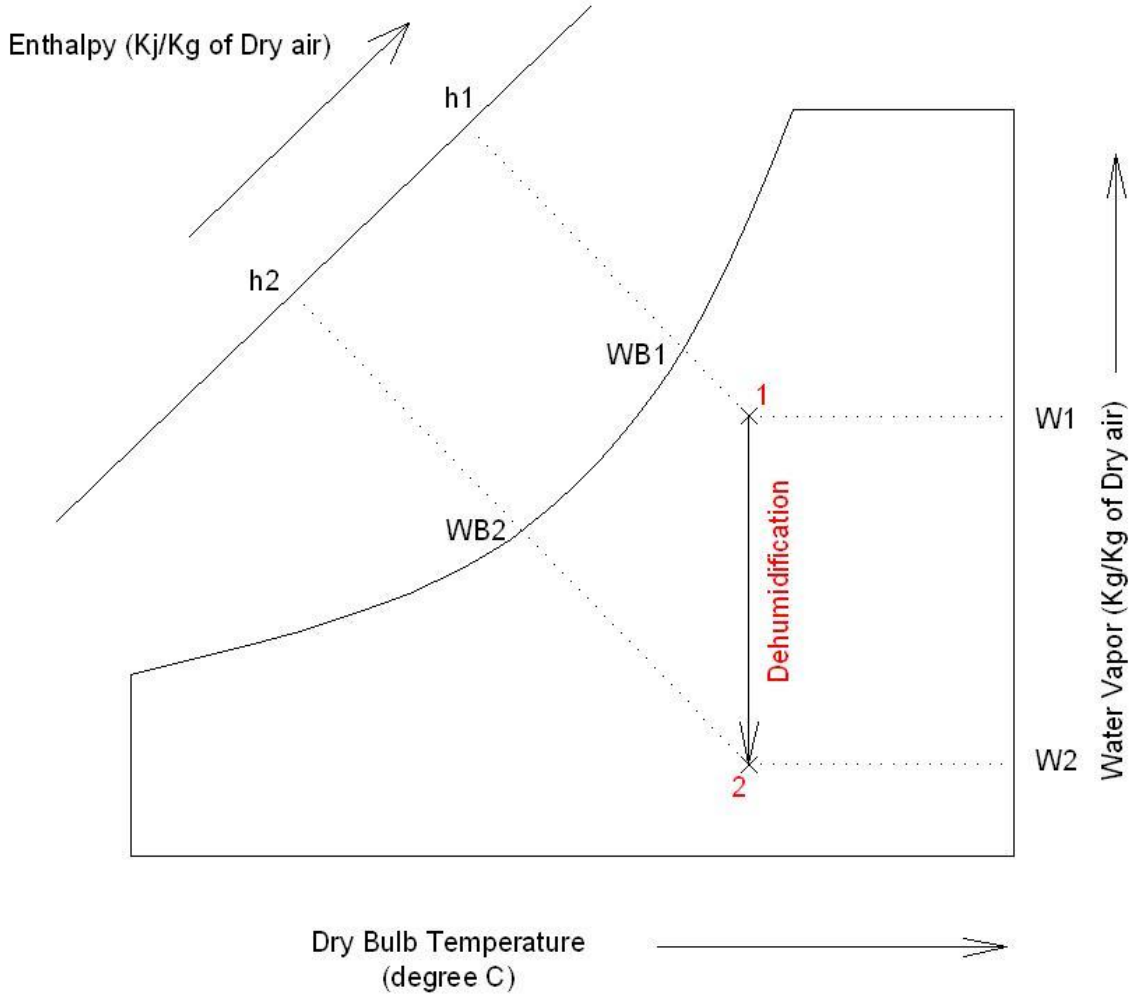
$\Delta w$  - فرق الرطوبة النوعية قبل الترطيب وبعده, Kg<sub>w</sub>/Kg<sub>a</sub>

$L$  - الطاقة الكامنة للتبخير تحت درجة الحرارة  $t_1$ , Kj/Kg



## 4- عملية التجفيف Dehumidification:

يقصد بتجفيف الهواء خفض محتوى الرطوبة دون تغيير درجة حرارته الجافة, وتمثل هذه العملية على المخطط البسايكرومترى بخط رأسي يتجه للأسفل, وتؤدي هذه العملية إلى خفض الرطوبة النوعية ونقطة الندى ودرجة الحرارة الرطبة والرطوبة النسبية.



## 5- الترطيب الأديباتي Adiabatic Humidification:

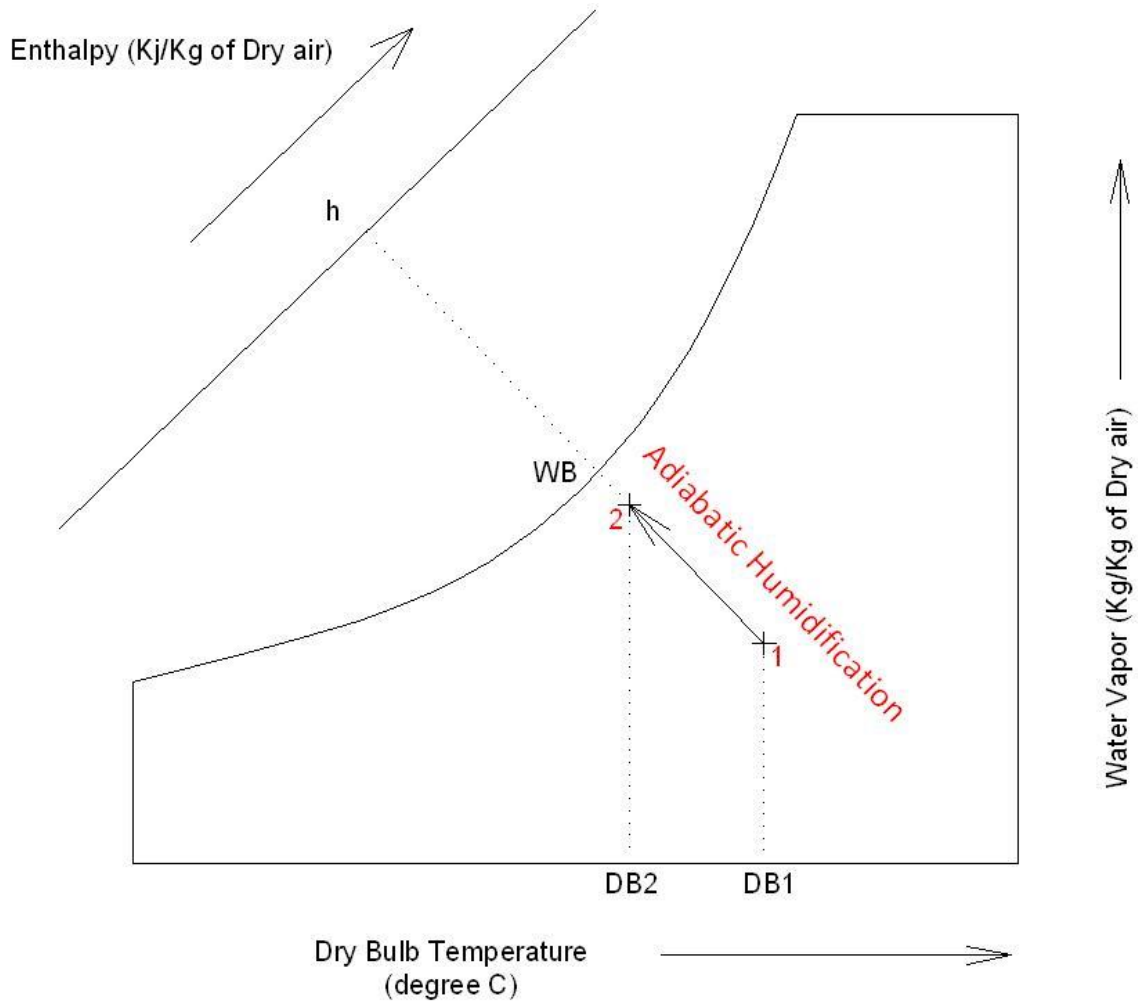
يتم ترطيب الهواء أديباتيا عند مروره فوق سطح ماء ضمن قناة أو بواسطة مرور الهواء خلال وحدة غاسل الهواء Air Washer تحت انتالبي ثابت مما يؤدي إلى زيادة رطوبته النوعية مع انخفاض درجة حرارته الجافة وذلك مع ثبات درجة حرارته الرطبة. إن معادلة الاتزان الحراري في هذه الحالة هي:

$$C \cdot \Delta t = L \cdot \Delta w$$

C- الحرارة النوعية للهواء, KJ/Kg.°C

أما كمية الماء المتبخر فتعطى بالمعادلة:

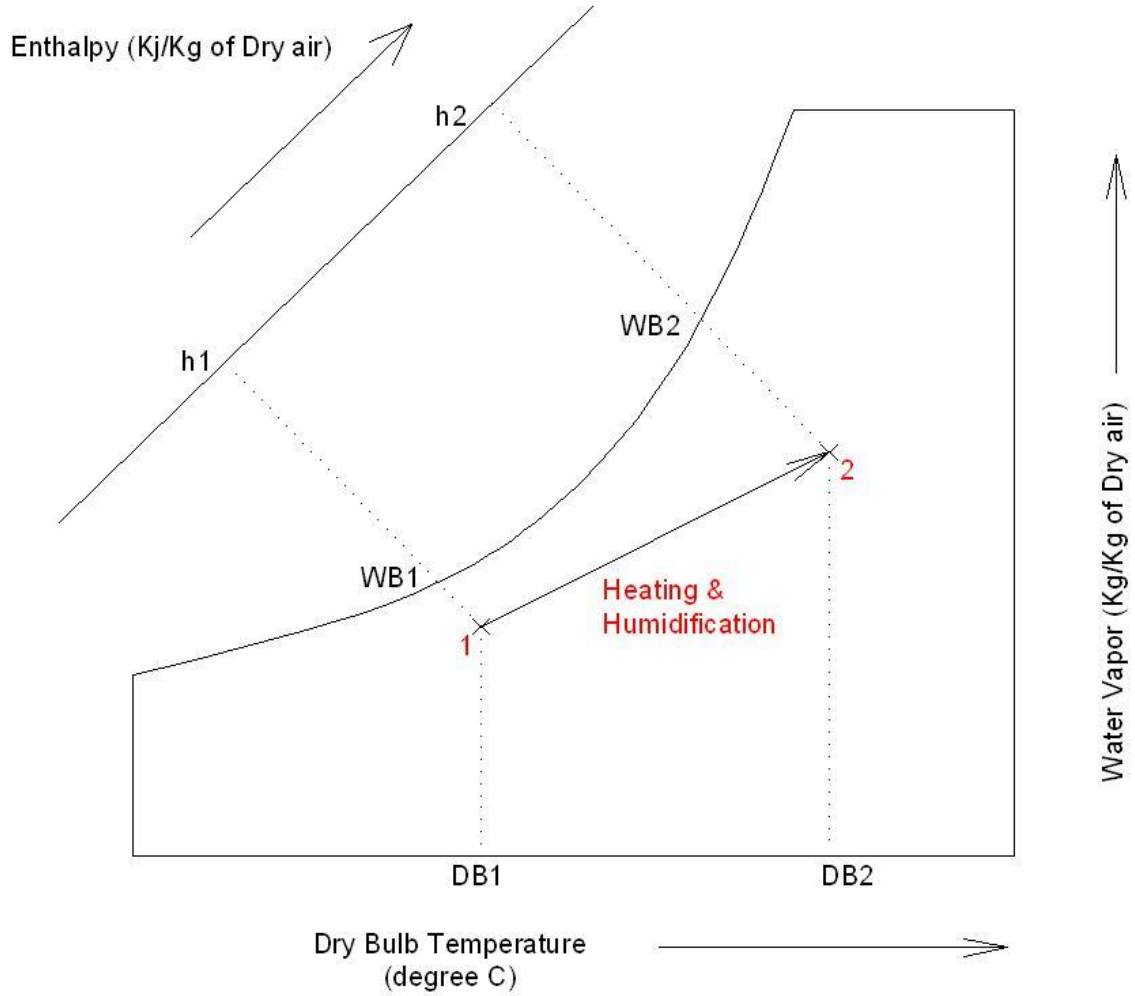
$$m_w = m_a \cdot \Delta w$$



6- عملية ترطيب وتسخين :Humidification and Heating

تتم هذه العملية شتاءً في الأماكن الجافة كما هو في المناخات الصحراوية، وتتم هذه العملية بواسطة وحدة رش مياه ساخنة أو وحدة رش بخار ماء، أو يمكن استخدام ملف تسخين أو ملفين مع ترطيب ادياباتي.  
سعة ملف التسخين:

$$Q_w = m_a \cdot \Delta h$$



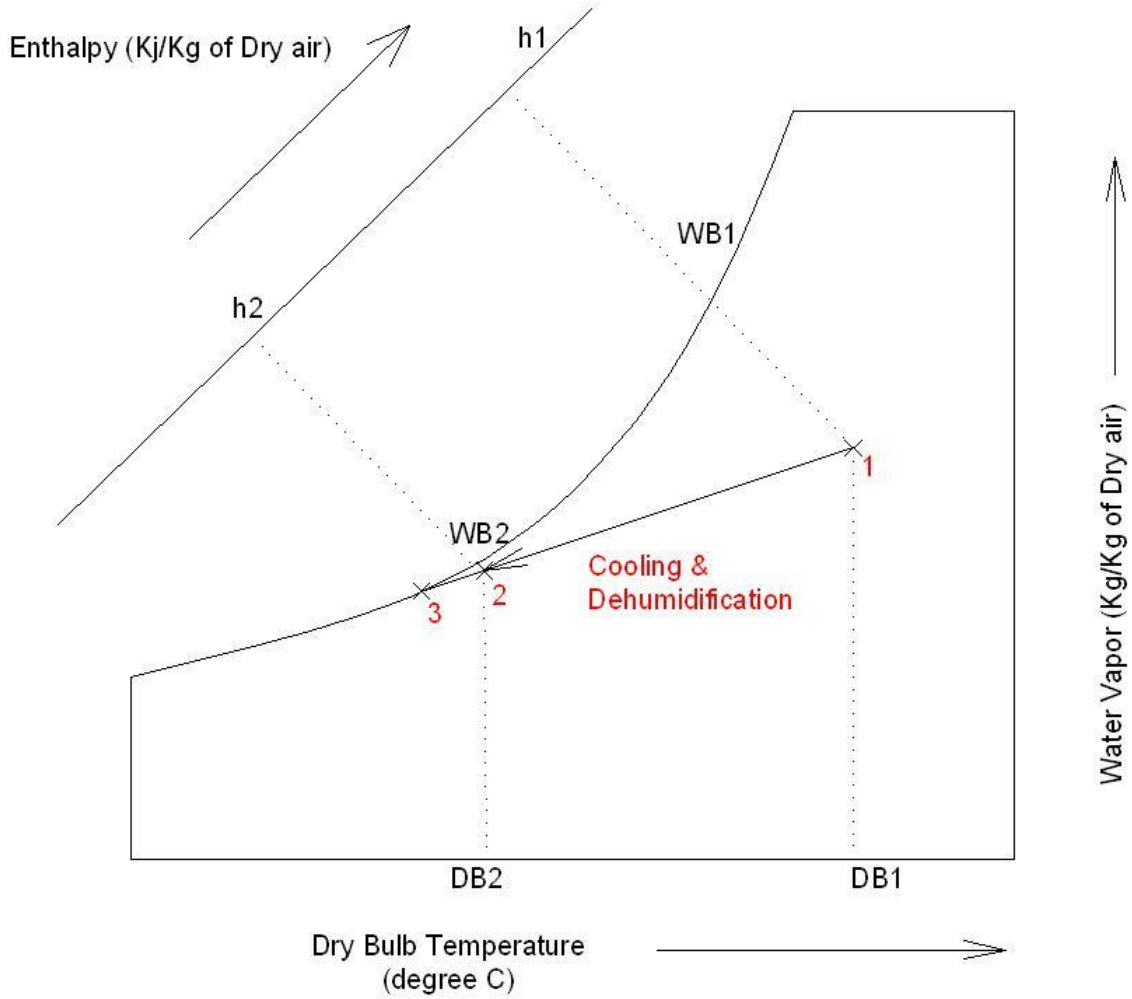
## 7- عملية تبريد مع تجفيف :Cooling and dehumidification

تستخدم عملية التبريد مع التجفيف في الأماكن الحارة والرطبة, وتتم العملية بتمرير الهواء على سطح بارد درجة حرارته أقل من نقطة الندى للهواء. تعطى استطاعة التبريد بالعلاقة:

$$Q_c = m_a \cdot \Delta h$$

أما معدل إزالة الرطوبة (التجفيف) فيعطى بالعلاقة:

$$m_w = m_a \cdot \Delta w$$



## • الإمرار الجانبي By-pass:

إن الرطوبة النسبية للهواء الخارجي من ملف التبريد لا تصل إلى 100% لأن الهواء المار على سطح أنابيب التبريد لا يلامس هذه الأسطح بشكل كامل, فالهواء الذي يلامس الأنابيب تتغير حالته من الحالة (1) إلى الحالة (3) بينما جزيئات

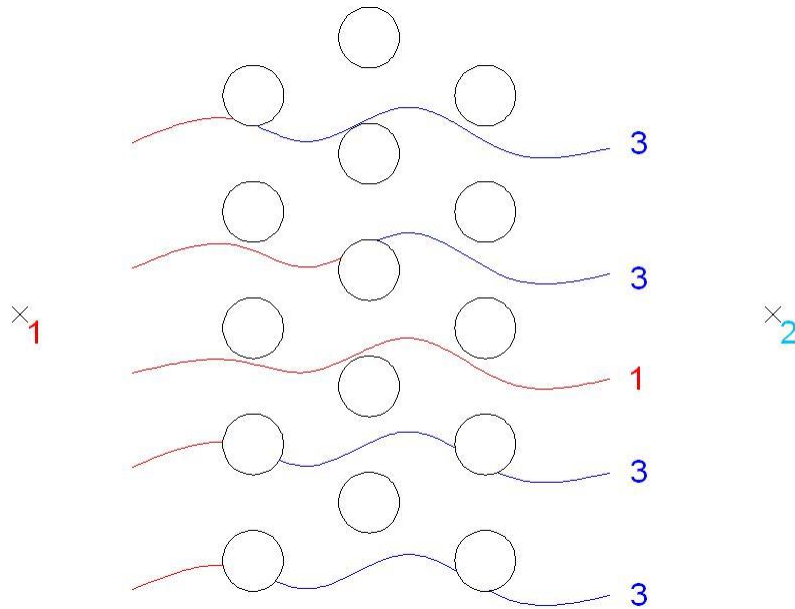
الهواء التي لا تلامس الأنابيب تظل في الحالة (1), وبعد الملف يختلط تيار الحالة (3) مع تيار الحالة (1) فنحصل على الحالة (2) والتي تقع على الخط الواصل بين (1) و (3).

يعرف الهواء الذي يمر خلال ملف التبريد ولا يلامس سطحه بهواء الإمرار الجانبي By-pass air, ويتوقف معدل الهواء المار جانبياً على تصميم الملف وسرعة الهواء خلاله حيث يزداد معدل الهواء المار جانبياً كلما انخفض عدد الزعانف المتوضعة على الملف لكل 1 سم طولي من الأنبوب أو زيادة المسافة بين الأنابيب أو زيادة سرعة الهواء المار خلال الملف.

يعطى عامل الإمرار الجانبي By-pass Factor بالعلاقة:

$$BF = (t_2 - t_3) / (t_1 - t_3)$$

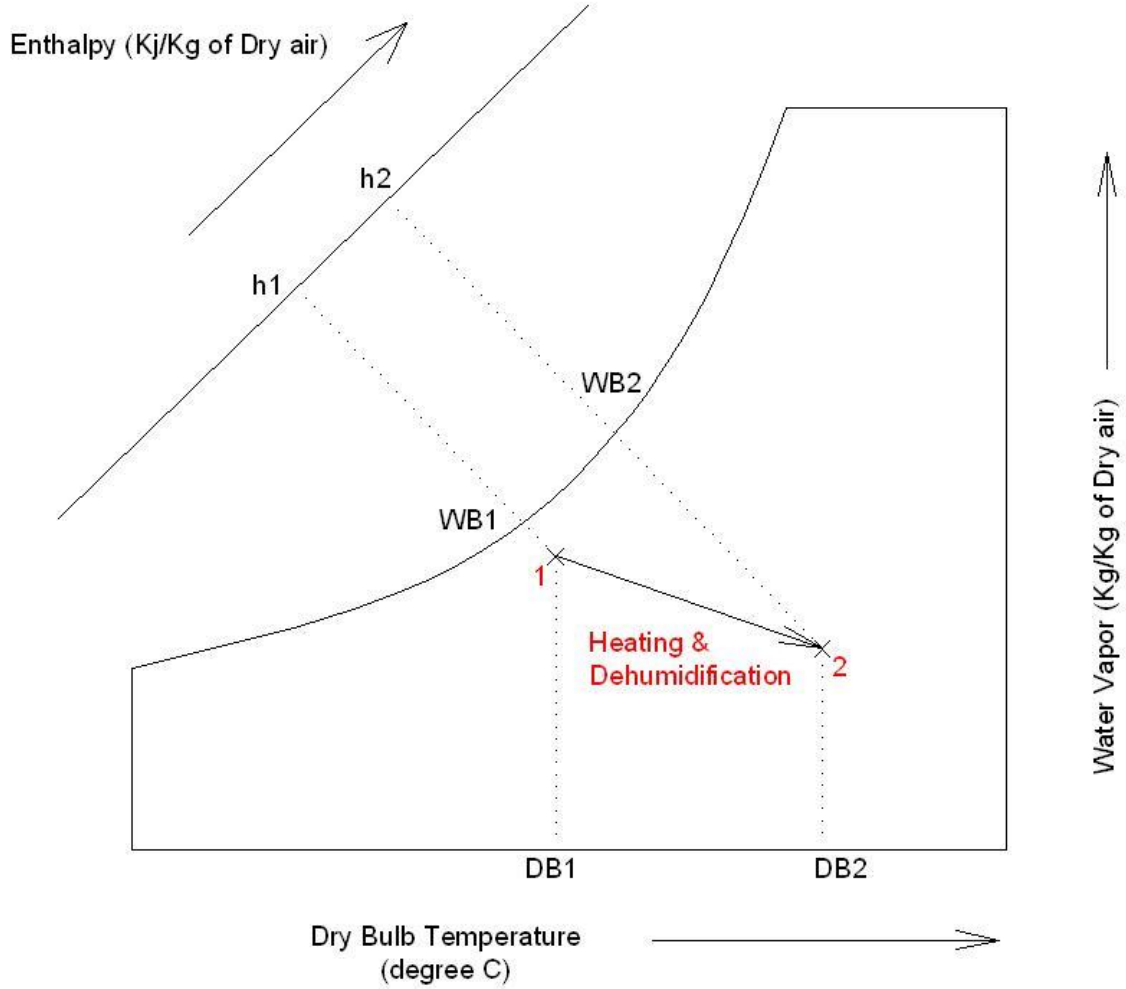
وعادة ما يتراوح عامل الإمرار الجانبي بين 0.05 و 0.15



8- عملية تسخين مع تجفيف :Heating and Dehumidification

تستخدم عملية التسخين مع التجفيف في الأجواء الباردة والرطبة, وتتم هذه العملية بتمرير الهواء على مواد كيميائية شرهة للرطوبة. يعين معدل إزالة الرطوبة بالمعادلة:

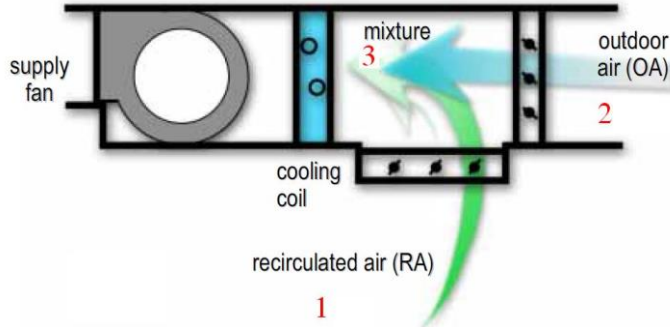
$$m_w = m_a \cdot \Delta w$$





## 9- مزج الهواء Air Mixing:

عند مزج هواء في الحالة (1) مع هواء في الحالة (2) ينتج هواء في الحالة (3) حيث أن النقطة (3) تقع على الخط الواصل بين (1) و (2) وأقرب إلى النقطة ذات نسبة التدفق الأعلى.



وتعين درجة الحرارة الجافة  $t_3$  بالعلاقة:

$$t_3 = t_1 \cdot \frac{m_1}{(m_1+m_2)} + t_2 \cdot \frac{m_2}{(m_1+m_2)}$$

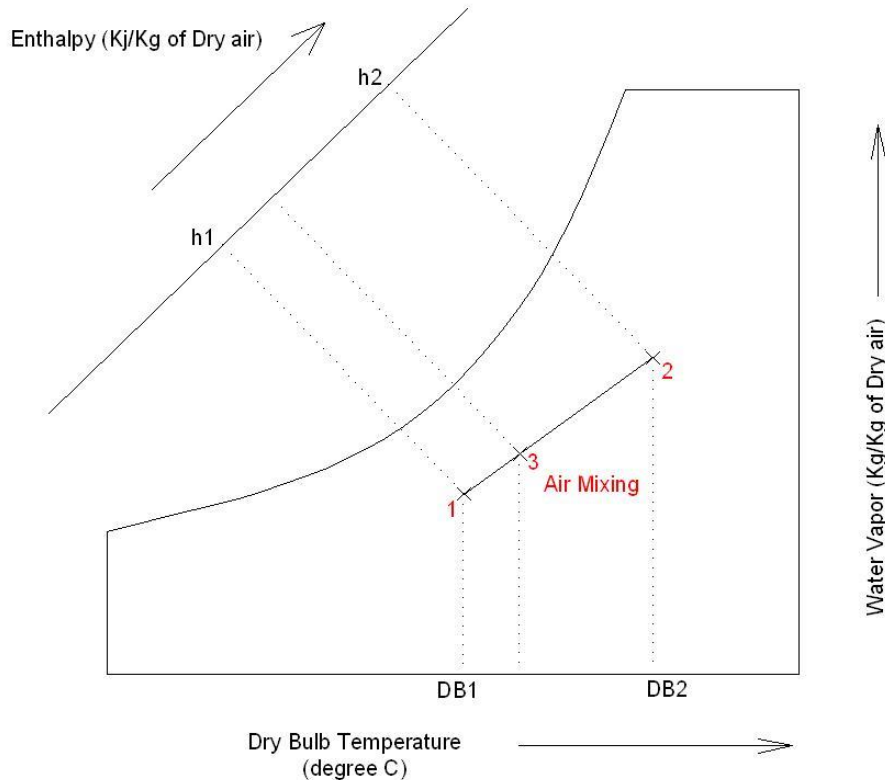
وبتقريب مقبول يمكن اعتبار العلاقة كالتالي:

$$t_3 = t_1 \cdot \frac{V_1}{(V_1+V_2)} + t_2 \cdot \frac{V_2}{(V_1+V_2)}$$

$t$  - درجة الحرارة الجافة, °C

$m$  - التدفق الكتلي, Kg/s

$V$  - التدفق الحجمي,  $m^3/s$



## 10- نسبة الحرارة المحسوسة Sensible Heat Ratio:

تصنف الحرارة إلى:

أ- حرارة محسوسة Sensible Heat:

هي الحرارة التي تعمل على زيادة أو خفض درجة حرارة الهواء الجافة مع ثبات رطوبته النوعية, وتمثل على المخطط البسايكرومترى بخط أفقي.

ب- حرارة كامنة Latent Heat:

هي الحرارة التي تعمل على ترطيب الهواء أو إزالة رطوبته مع ثبات درجة حرارته الجافة, وتمثل على المخطط البسايكرومترى بخط رأسي.

في حال كانت العملية السايكرومترية مكونة من مركبتين محسوسة وكامنة فإن ميل خط العملية بالزاوية  $\alpha$  عن الخط الأفقي يسمى بنسبة الحرارة المحسوسة (أو عامل الحرارة المحسوسة) وتعطى بالعلاقة:

$$SHR = H_s / H_T = \cos \alpha$$

$H_s$  - كمية الحرارة المحسوسة, Kw

$H_T$  - كمية الحرارة الكلية (المحسوسة والكامنة), Kw

أي أن نسبة الحرارة المحسوسة (SHR) Sensible Heat Ratio: عبارة عن النسبة بين الحرارة المحسوسة إلى الحرارة الكلية, وبعض المراجع يطلق عليها Sensible Heat Factor (SHF).

فإذا كانت الحرارة الكامنة تساوي الصفر عندها:  $SHR = 1$  والعملية أفقية

وإذا كانت الحرارة المحسوسة تساوي الصفر عندها:  $SHR = 0$  والعملية رأسية

$$0 \leq SHR \leq 1$$

ولرسم عملية ذات نسبة حرارة محسوسة معينة نصل بين النقطة المرجعية (عادة هي النقطة 24 مئوية جافة ورطوبة نسبية 50%) مع قيمة نسبة الحرارة المحسوسة المبينة على المخطط, فإذا لم تكن العملية تمر من النقطة المرجعية عندها نرسم خطاً موازياً للخط المار من النقطة المرجعية وله ميل SHR.

عندما يدخل هواء الإرسال البارد إلى الغرفة المراد تكييفها فإنه يقوم بامتصاص الحرارة والرطوبة، وتعتمد كمية الحرارة وكمية الرطوبة الممتصة على درجة حرارة هواء الإرسال ورطوبته، إذاً يجب أن يكون هواء الإرسال بارداً بشكل كافٍ للتغلب على كمية الحرارة المحسوسة الزائدة وأن يكون جافاً بشكل كافٍ للتغلب على كمية الحرارة الكامنة الزائدة.

أي أن كمية الحرارة المحسوسة والكامنة الزائدة في الغرفة هي من تحدد شروط هواء الإرسال من حيث درجة الحرارة الجافة والرطوبة. فإذا لم يتم إزالة الحرارة المحسوسة والكامنة كما هو محسوب، عندها لن يتم الحفاظ على الشروط المطلوبة ضمن الغرفة.

ويمكن تأمين الشروط الداخلية المطلوبة ضمن الغرفة بإرسال هواء شروطه (أي درجة حرارته الجافة والرطوبة) تقع على نفس خط الـ SHR للغرفة، وبالتالي لدينا عدد لا نهائي من الحلول لكن بشرط تأمين تدفق الهواء اللازم والمقابل لكل درجة حرارة معينة.

ولفهم هذا الأمر أكثر نفترض أنه لدينا وعاء فيه ماء كما هو موضح في الشكل، والمطلوب المحافظة على درجة حرارة الماء ثابتة في الوعاء.



نلاحظ أن الماء يكتسب حرارة نتيجة التسخين المستمر، وللمحافظة على درجة حرارة ثابتة للماء عند 24° م مثلاً، فإن أي كسب حراري للماء يجب أن يتم إلغائه بإضافة ماء بارد للماء الموجود في الوعاء. وإن معدل تدفق الماء البارد المضاف المطلوب يتغير حسب درجة حرارة هذا الماء البارد، أي أن لكل درجة حرارة للماء البارد يقابلها تدفق ماء معين ليتم إلغاء الكسب الحراري والحفاظ على درجة حرارة معينة ضمن الوعاء، وكلما ارتفعت درجة حرارة الماء المضاف كلما احتجنا إلى معدل تدفق ماء أكبر والعكس صحيح.

وبالعودة إلى حالة التكييف, وبما أن خط SHR يعبر عن نسبة الحرارة المحسوسة للكليية, فإن أي نقطة إرسال تقع على هذا الخط يمكن أن تؤمن الشروط المطلوبة للغرفة لكن مع تأمين تدفق الهواء المناسب, وأي نقطة إرسال لا تقع على خط الـ SHR فإنها لن تؤمن الشروط المطلوبة داخل الغرفة.

لحساب تدفق هواء الإرسال المطلوب نستخدم العلاقة التالية:

$$Q = \frac{H_S}{\rho \cdot c \cdot (t_R - t_S)}$$

-Q- تدفق هواء الإرسال,  $m^3/s$  (cfm)

-H<sub>S</sub>- كمية الحرارة المحسوسة, W (Btu/h)

-ρ- كثافة الهواء,  $Kg/m^3$  (lb/ft<sup>3</sup>)

-c- السعة الحرارية للهواء,  $j/Kg \cdot ^\circ K$  (Btu/lb<sup>°F</sup>)

-t<sub>R</sub>- درجة الحرارة الجافة المطلوبة ضمن الغرفة,  $^\circ C$  (°F)

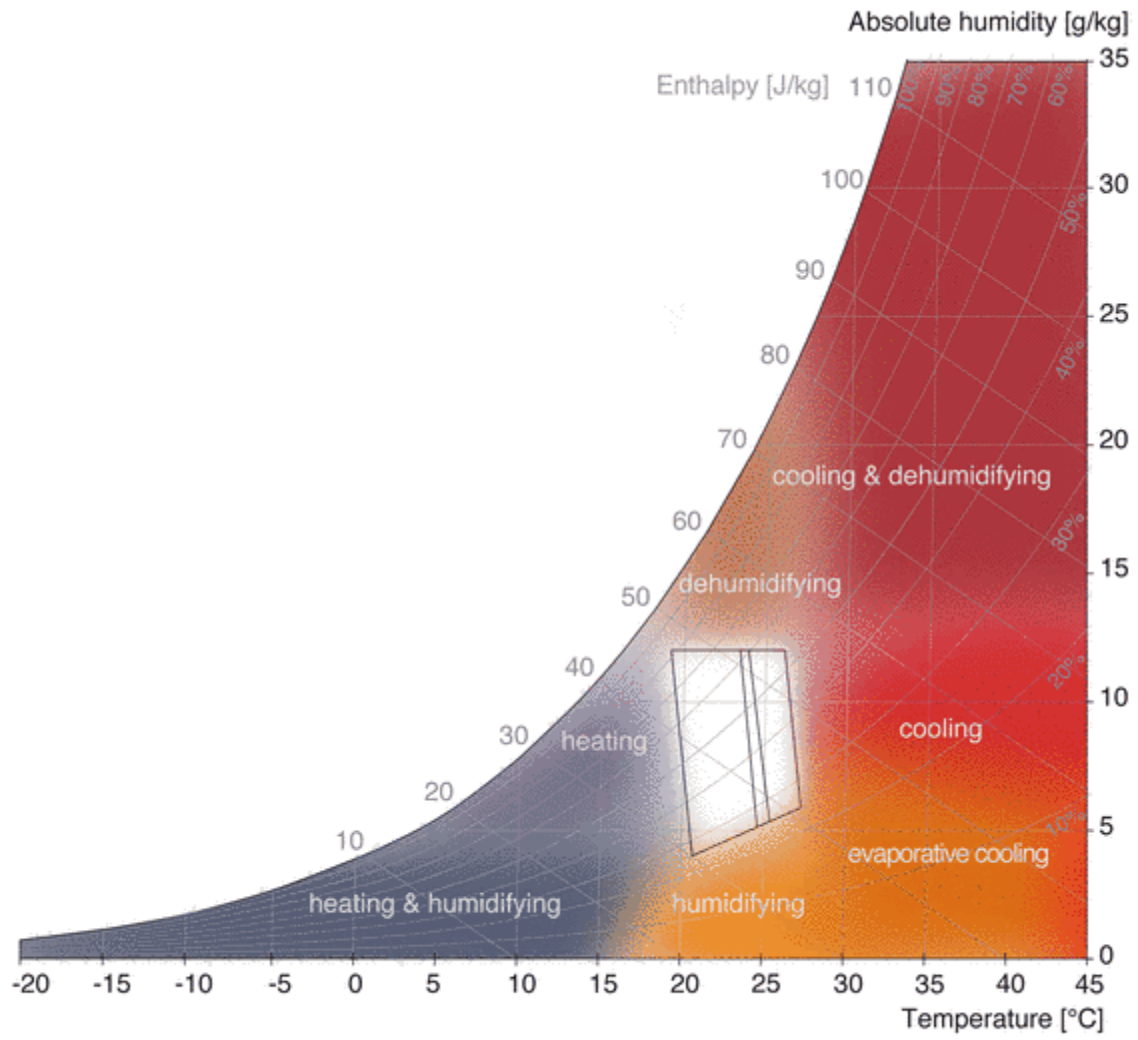
-t<sub>S</sub>- درجة الحرارة الجافة لهواء الإرسال,  $^\circ C$  (°F)

عند الشروط النظامية, أي درجة حرارة 20 مئوية وعند ارتفاع سطح البحر, فإن:

$\rho = 1.204$ ,  $c = 1006$  ... وبالتعويض في المعادلة نجد:

$$Q = \frac{H_S}{1210(t_R - t_S)} \quad SI$$

$$Q = \frac{H_S}{1.085(t_R - t_S)} \quad IP$$

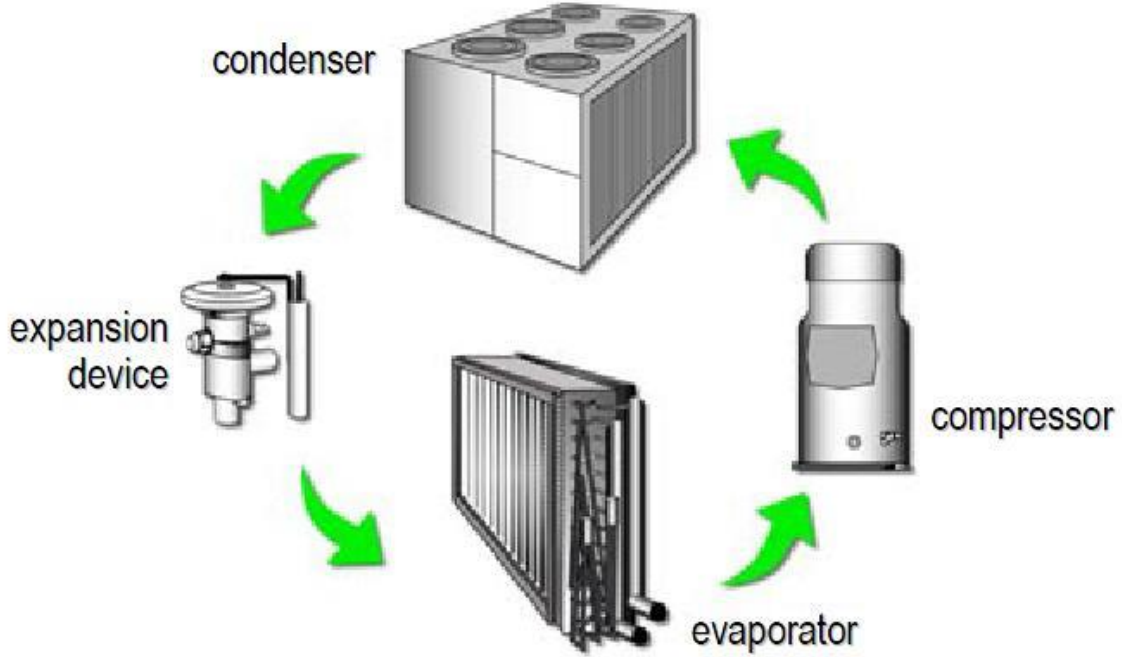


Room conditioning according to the outdoor climate shown in psychrometric chart

## دورة التبريد

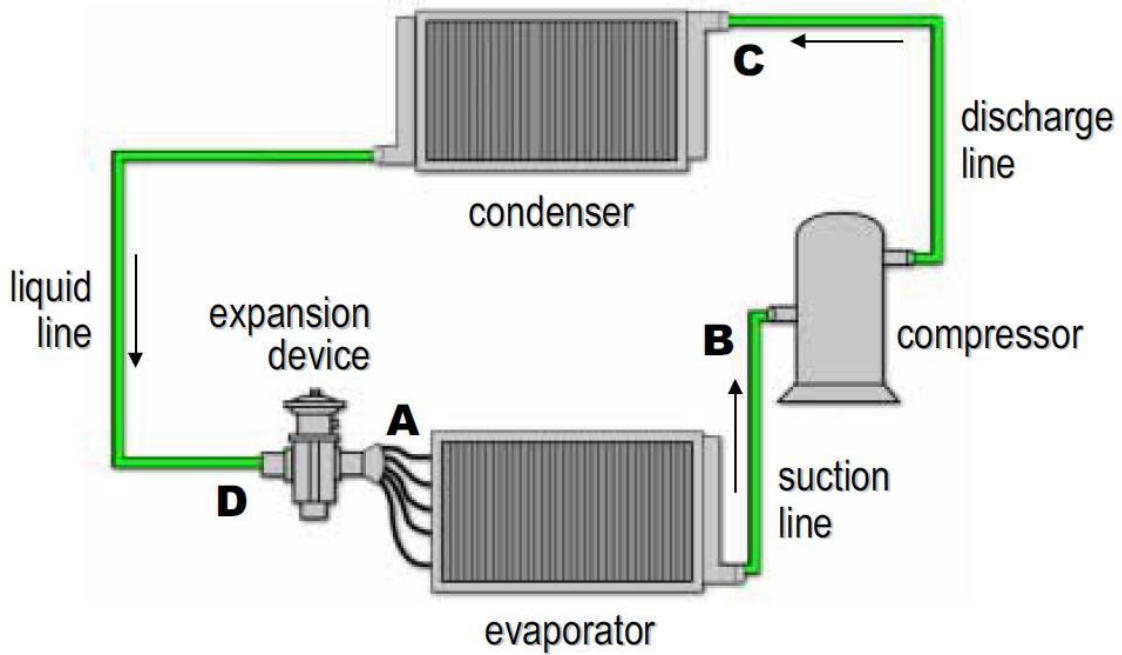
# Refrigeration Cycle

## دائرة التبريد Refrigeration Cycle

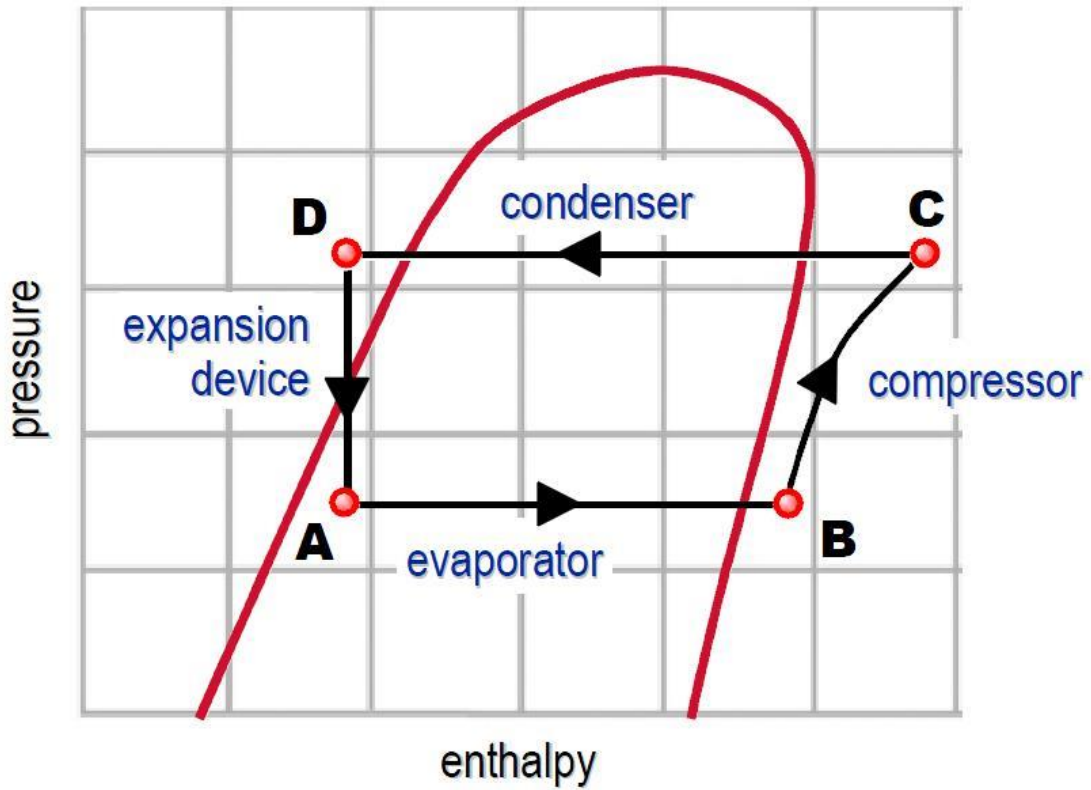


تتكون دائرة التبريد من العناصر الأساسية التالية:

- 1- الضاغط Compressor: الغاية من الضاغط رفع الضغط المنخفض لبخار وسيط التبريد - والقادم من المبخر عن طريق خط السحب- إلى الضغط المرتفع, مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة وسيط التبريد.
- 2- المكثف Condenser: بعد خروج وسيط التبريد من الضاغط يدخل إلى المكثف عن طريق خط الدفع بدرجة حرارة وضغط مرتفعين, ونتيجة للتبادل الحراري مع الوسط الخارجي تنخفض درجة حرارة وسيط التبريد (عند ضغط ثابت) ويتكاثف وسيط التبريد متحولاً إلى سائل وينتقل الوسيط إلى صمام التمدد عن طريق خط السائل.
- 3- صمام التمدد Expansion Valve: يستخدم لتخفيض ضغط وسيط التبريد السائل وبالتالي تخفيض درجة حرارته.
- 4- المبخر Evaporator: يقوم المبخر بسحب الحرارة من الوسط المراد تبريده وتحويل وسيط التبريد (سائل + بخار) إلى بخار بالكامل.



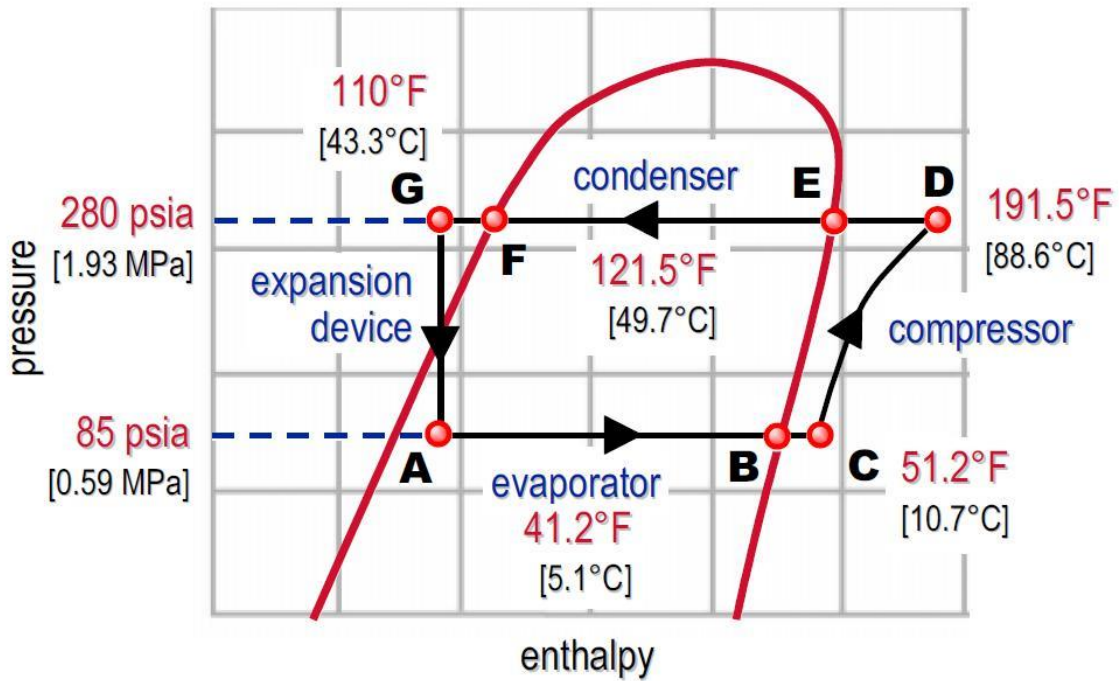
تمثل دورة التبريد على مخطط الضغط - الانتالبي p-h كما هو موضح بالشكل التالي:





حيث يدخل وسيط التبريد وهو على شكل بخار محمص إلى الضاغط عند النقطة B بضغط منخفض ودرجة حرارة منخفضة، وبعد ارتفاع ضغطه ضمن الضاغط يدخل وسيط التبريد إلى المكثف عند النقطة C ذات الضغط المرتفع ودرجة الحرارة المرتفعة، ثم يبدأ وسيط التبريد بالتكاثف تحت ضغط ثابت داخل المكثف مما يؤدي إلى انخفاض درجة حرارته وتحوله بالكامل إلى سائل مبرد تحتياً عند خروجه من المكثف عند النقطة D حيث يدخل إلى صمام التمدد لتخفيض الضغط بشكل مفاجئ وبالتالي انخفاض درجة حرارته إلى درجة حرارة التبخر ويتحول جزء صغير من الوسيط إلى بخار ويبقى الجزء الأكبر على شكل سائل، وبعدها يدخل وسيط التبريد إلى المبخر ليقوم بسحب حرارة الحيز المراد تبريده تحت ضغط ثابت فترتفع درجة حرارته ويبدأ بالتحول تدريجياً إلى بخار محمص لتعاد الدورة مرة أخرى عند النقطة A.

والمخطط التالي يبين مثال عن درجات الحرارة والضغط لدارة تبريد تستخدم وسيط تبريد معين:



## مكونات دورة التبريد

## Refrigeration Cycle Components

## مكونات دورة التبريد Refrigeration Cycle Components

### الضواغط Compressors:

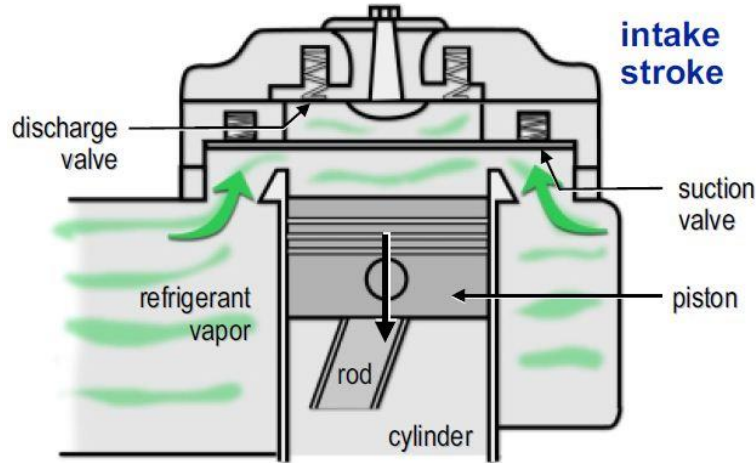
تصنف الضواغط حسب مبدأ عملها إلى:

- 1- ضواغط تعمل على الإزاحة الموجبة Positive – Displacement: وهي التي تعمل على ضغط بخار وسيط التبريد بتقليل حجمه, وتشمل الضواغط الترددية والحلزونية واللولبية.
- 2- ضواغط تعمل على مبدأ الضغط الديناميكي Dynamic Compression: وذلك بتحويل الطاقة من شكل إلى آخر لزيادة ضغط ودرجة حرارة وسيط التبريد كالضواغط النابذي.

### 1- الضاغط الترددي Reciprocating Compressor:

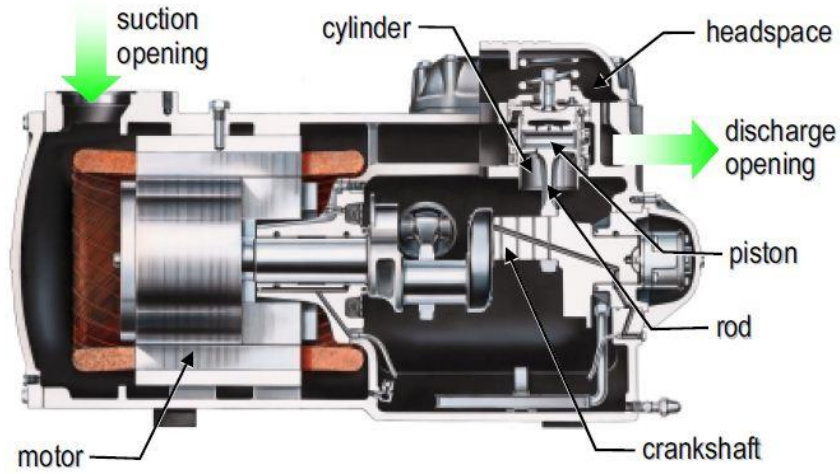
يتم ضغط بخار وسيط التبريد في الضاغط الترددي بواسطة مكبس يتحرك بشكل ترددي داخل اسطوانة بشكل مشابه لمحركات الاحتراق الداخلي كما هو موضح في الشكل التالي:

## Reciprocating Compressor



والشكل التالي يبين مقطعاً في الضاغط الترددي, وسابقاً كان الضاغط الترددي بكثرة في دارات التبريد لكن تم استبداله بالأنواع الجديدة من الضواغط بسبب فاعليتها الأكبر

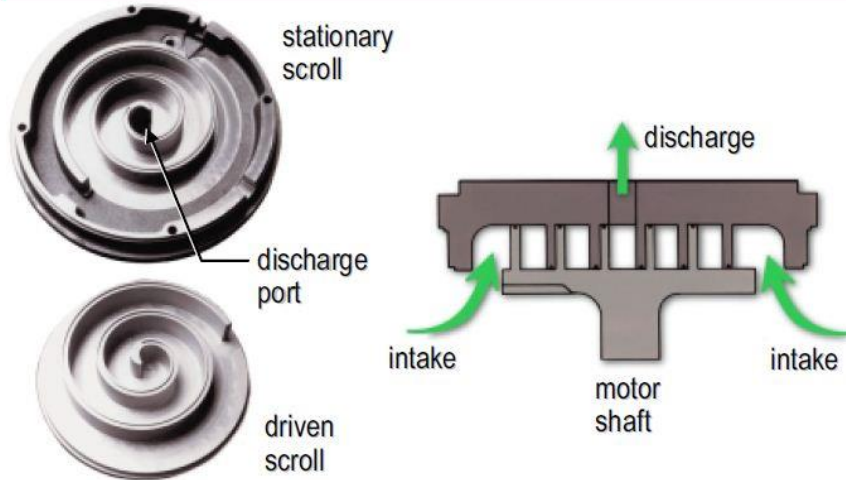
## Reciprocating Compressor



### 2- الضاغط الحلزوني Scroll Compressor:

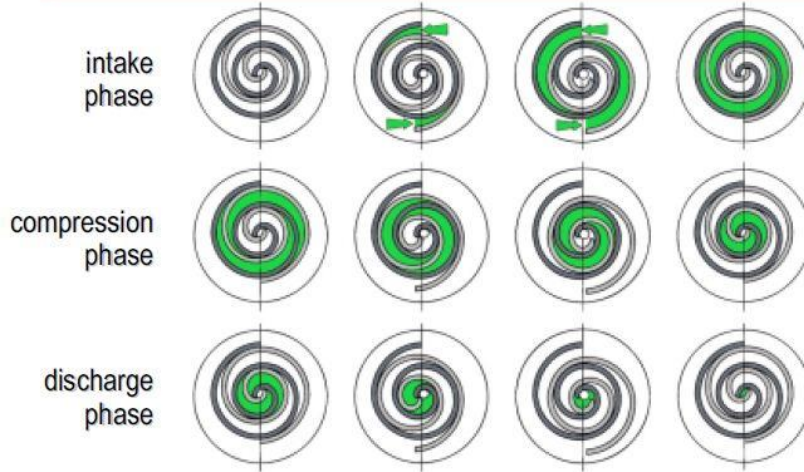
يعمل الضاغط الحلزوني على حصر بخار وسيط التبريد وضغطه وذلك بتقليص حجمه, ويتم هذا الأمر باستخدام قرصين حلزونيين متقابلين كما هو في الشكل:

## Scroll Compressor



أحدهما ثابت والآخر متحرك بواسطة محرك الضاغط, ويتم ضغط وسيط التبريد بالطريقة المشروحة في الشكل التالي:

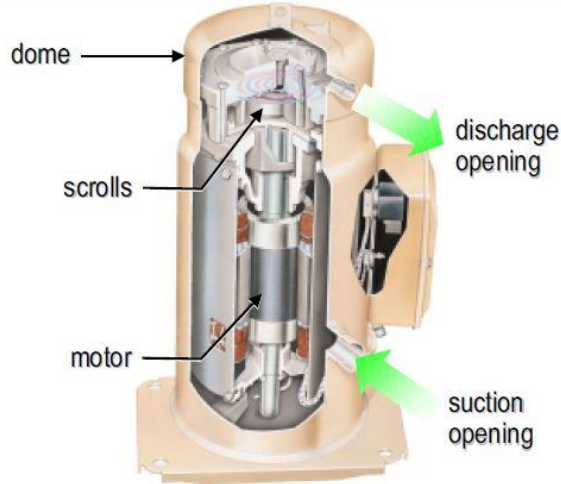
## Scroll Compressor



حيث يمثل الصف الأول شوط السحب, والصف الثاني يمثل شوط الضغط, أما الصف الثالث فيوضح شوط الدفع

والشكل التالي يبين مقطعاً في الضاغط الحلزوني مع الغلاف:

## Scroll Compressor



ويستخدم الضاغط الحلزوني في الكثير من تطبيقات أجهزة التبريد كوحدة البكج ومبردات الماء ذات الاستطاعة الصغيرة

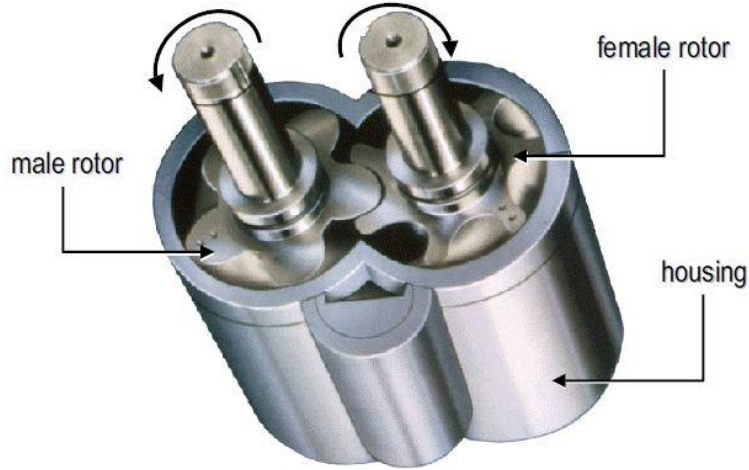
### 3- الضاغط اللولبي (الدوار) Screw (Helical-Rotary) Compressor:

بنفس الطريقة المشروحة في الضاغط الحلزوني، يقوم الضاغط اللولبي بحصر بخار وسيط التبريد وضغطه بتقليص حجمه وذلك باستخدام لولبين دوارين (ذكر وأنثى) يدوران بعكس بعضهما البعض كما هو موضح بالشكل:

## Helical-Rotary (Screw) Compressor

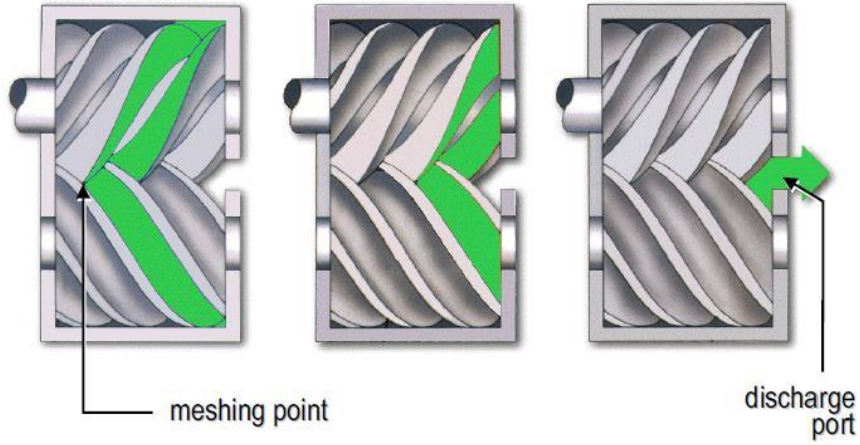


## Helical-Rotary Compressor



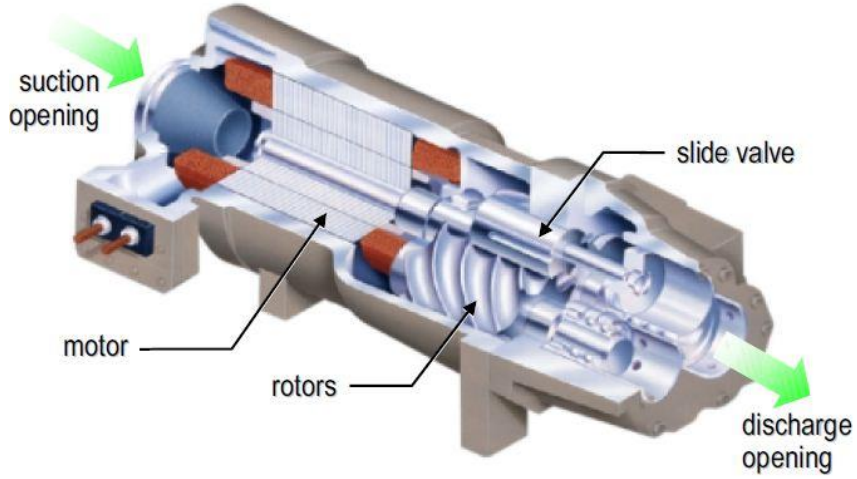
حيث يقوم محرك بتدوير اللولب الذكر مع دخول شحنة من بخار وسيط التبريد، ونتيجة تماس اللولبين مع بعضهما وتحرك الشحنة من بداية التماس إلى آخره يتقلص حجم البخار وينضغط وسيط التبريد كما هو موضح بالشكل:

## Helical-Rotary Compressor



والشكل التالي يوضح مقطعاً في الضاغط اللولبي:

## Helical-Rotary Compressor



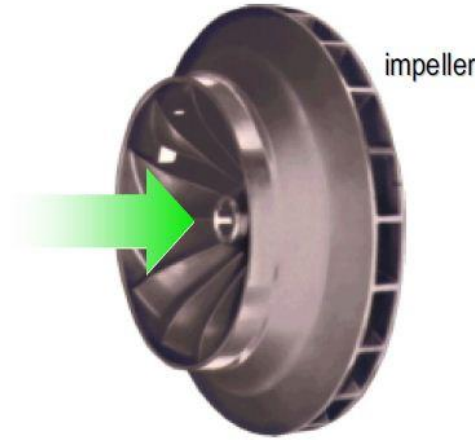
وغالباً ما يستخدم الضاغط اللولبي في مبردات الماء Water Chillers التي تتراوح استطاعتها بين 200 – 1500 Kw

#### 4- الضاغط النابذي Centrifugal Compressor:

يختلف مبدأ عمل الضاغط النابذي عن الضواغط السابقة حيث يستخدم ما يسمى بالضغط الديناميكي لتأمين المطلوب, أي يقوم بتحويل الطاقة الحركية (السرعة) إلى طاقة كامنة (الضغط).

ويتم ذلك باستخدام مبدأ القوة النابذة, حيث يدخل بخار وسيط التبريد إلى مركز الجزء الدافع Impeller بشكل عمودي عليه, ثم نتيجة دوران الدافع يندفع وسيط التبريد ضمن ممرات بشكل شعاعي وتزداد سرعته وبالتالي طاقته الحركية, ثم ينتقل هذا الوسيط إلى ممرات ناشرة ذات مساحة مقطع متزايدة, وكلما زادت مساحة مقطع الممر الناشر تنخفض السرعة وبالتالي الطاقة الحركية وتتحول إلى طاقة كامنة على شكل ضغط. الجزء الدافع موضح بالشكل:

### Centrifugal Compressor

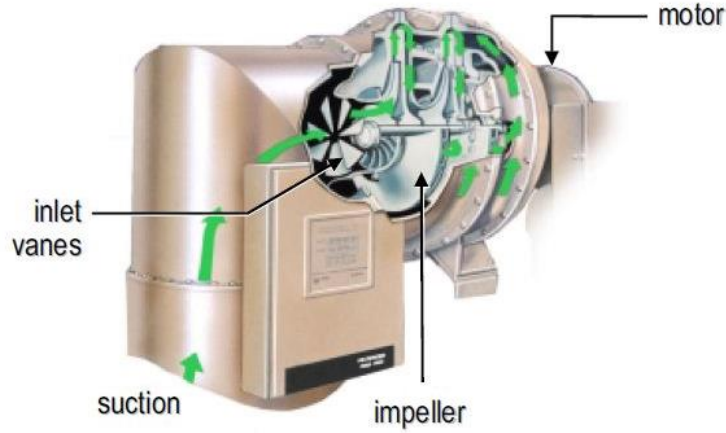


وعادة ما تستخدم الضواغط النابذية في مبردات الماء ذات الاستطاعة الكبيرة جداً تتراوح ما بين 100 – 3000 Ton<sub>ref</sub> ويمكن الوصول إلى استطاعة 8500 Ton<sub>ref</sub> للمبرد الواحد في حال تم تجميع المبرد في نفس مكان التركيب.

والشكل التالي يبين مقطعا في الضاغط النابذي:



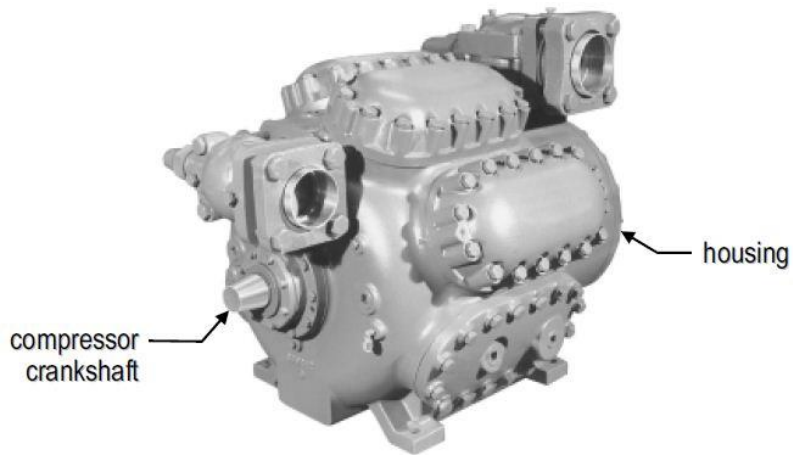
## Centrifugal Compressor



كما تصنف الضواغط من حيث إمكانية الصيانة أيضا إلى:

**1- ضاغط مفتوح Open Compressor:** يتم تدويره بواسطة محرك خارجي متصل مع جسم الضاغط بواسطة قارئة, ويتم تبريد المحرك بواسطة الهواء المحيط. ويتميز هذا النوع من الضواغط بإمكانية صيانة المحرك أو جسم الضاغط, لكن هناك احتمال لتسرب وسيط التبريد

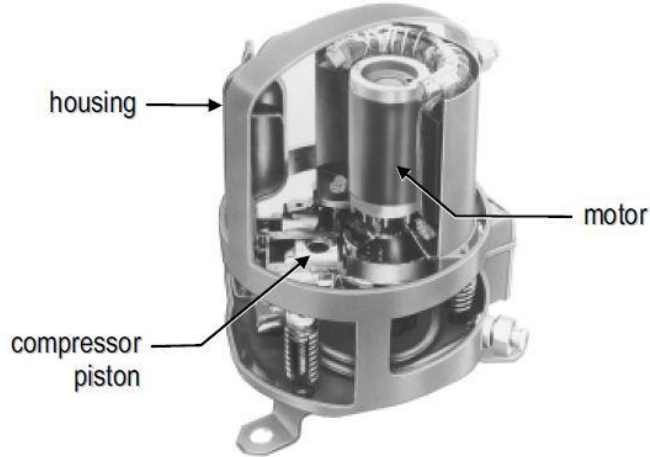
## Open Compressor



**2- ضاغط مغلق Hermetic Compressor:** يكون الضاغط مغلقاً في حال كان محرك الضاغط موجود بنفس الغلاف مع جسم الضاغط, ويتم تبريد المحرك بواسطة وسيط

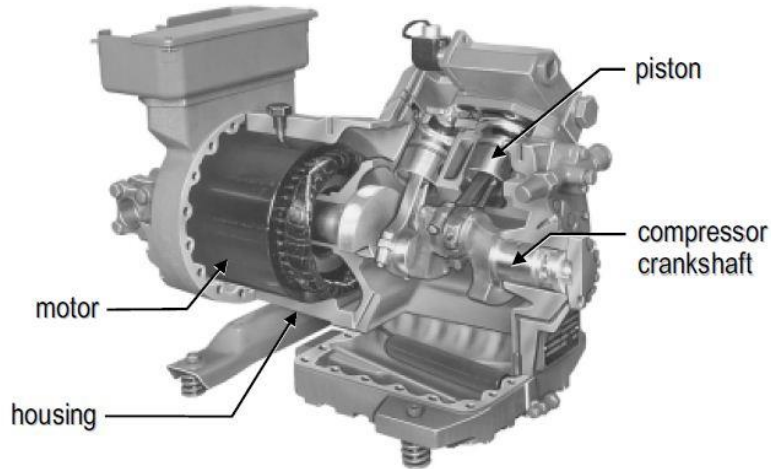
التبريد نفسه, لكن صيانة الضاغط المغلق صعبة نوعاً ما, لذلك في حال احتراق المحرك فإنه غالباً ما يتم استبدال الضاغط بأكمله, وتسرب وسيط التبريد معدوم.

## Hermetic Compressor



**3- ضاغط نصف مغلق Semi-Hermetic Compressor:** حيث يتوضع المحرك وجسم الضاغط ضمن نفس الغلاف لكن يتم تجميع الجزئين بواسطة البراغي, ويتم تبريد المحرك بواسطة وسيط التبريد, لكن بنية هذا الضاغط تسمح بصيانة المحرك أو جسم الضاغط, كما أن احتمال تسرب وسيط التبريد قليل

## Semihermetic Compressor



## المكثفات Condensers:

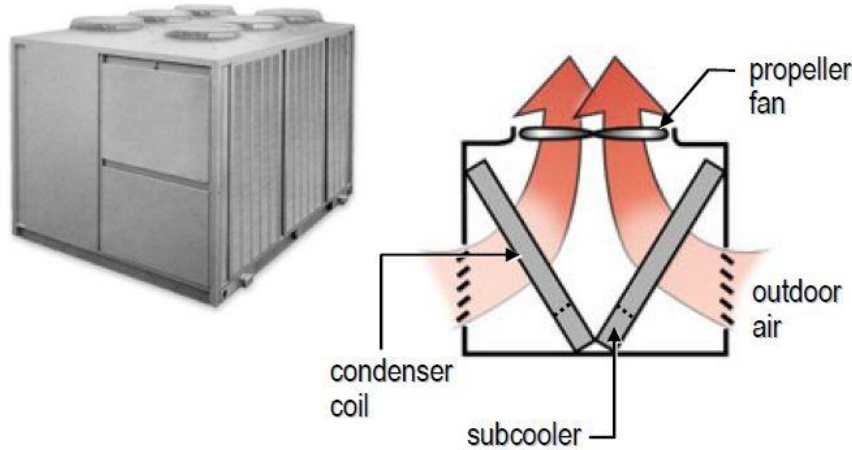
هناك ثلاثة أنواع للمكثفات هي:

### 1- المكثف المبرد بالهواء Air Cooled Condenser:

وهو المكثف الذي يستخدم عادة مروحة دافعة Propeller في حال تركيب جهاز التكييف في الهواء الطلق, أو مروحة نابذية Centrifugal مع مجرى هواء في حال تركيب الجهاز داخل المبنى, لسحب الهواء الخارجي وتمريضه على الأنابيب المزعنة للمكثف, ونتيجة لفرق درجات الحرارة بين بخار وسيط التبريد الساخن المار ضمن الأنابيب وحرارة الهواء المحيط بالمكثف يحدث التبادل الحراري ويخسر بخار وسيط التبريد الحرارة ويبدأ بالتكاثف متحولاً إلى سائل, كما أن سائل وسيط التبريد يتم تبريده تحتياً بواسطة المبرد التحتي Subcooler في الأجزاء الأخيرة من المكثف.

يتميز المكثف المبرد بالهواء بسهولة صيانته, ونتيجة لعدم استخدام الماء كوسيط تكثيف فلا تواجه مشاكل معالجة المياه وحمايتها من التجمد.

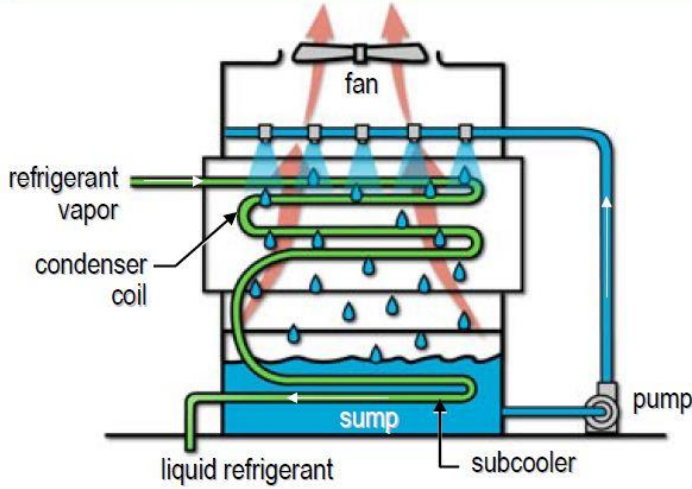
## Air-Cooled Condenser



### 2- المكثف التبخيري Evaporative Condenser:

في هذا النوع من المكثفات يتم تذرير الماء على سطح المكثف, وعند مرور الهواء على أنابيب المكثف يتبخر جزء من الماء مما يؤدي إلى امتصاص حرارة وشيعة المكثف وبالتالي تكاثف بخار وسيط التبريد, أما الماء المتبقي فيتساقط على حوض ويتم إعادة استخدامه. ويتم التبريد التحتي من خلال تمرير الأنابيب ضمن حوض تجميع الماء.

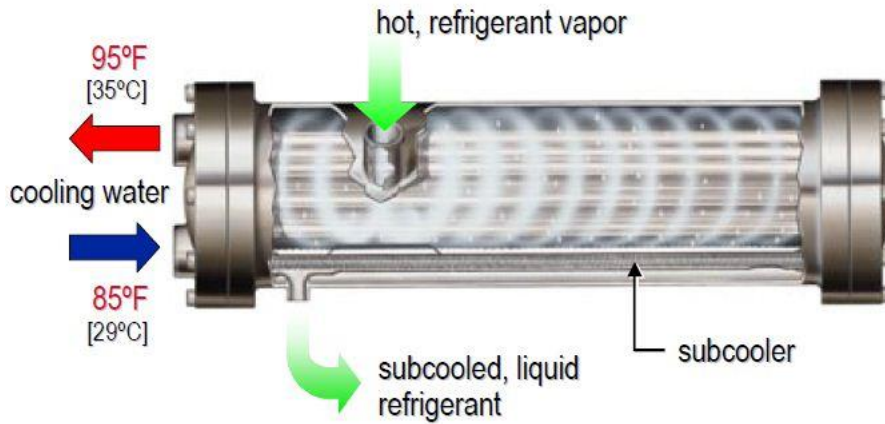
## Evaporative Condenser



### 3- المكثف المبرد بالماء Water Cooled Condenser :

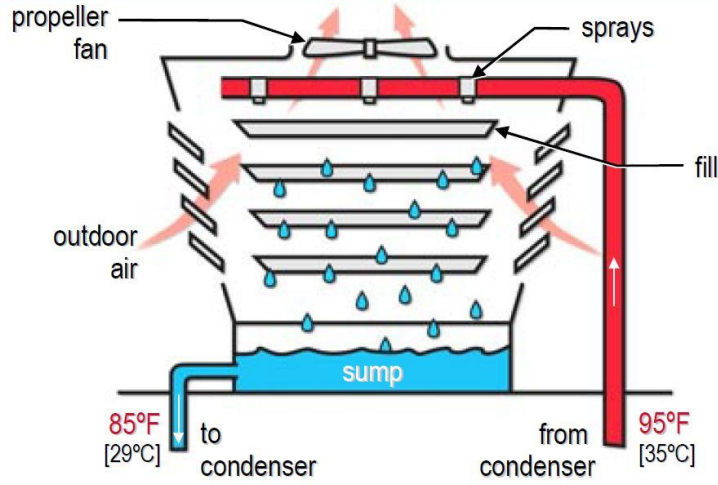
إن أشهر أشكال هذا النوع من المكثفات هو مكثف Shell and Tube, حيث يتم تمرير الماء من خلال الأنابيب بينما يغمر بخار وسيط التبريد الغلاف المحيط بهذه الأنابيب, وبذلك تنتقل الحرارة من وسيط التبريد إلى الماء ويتكاثف بخار وسيط التبريد, ثم يتم تبريد سائل وسيط التبريد تحتياً بواسطة أنابيب ماء إضافية.

## Water-Cooled Condenser



أما الماء الساخن فيتم التخلص منه في حال استخدام دارة ماء مفتوحة كمياه الآبار أو الأنهار أو البحار, أو يتم إعادة تبريده باستخدام برج التبريد, حيث يتم تذيرير الماء فوق الحشوة بينما تقوم مروحة دافعة بسحب الهواء الخارجي وتمريه على الحشوة مما يؤدي إلى تبخر جزء من الماء ساحباً معه كمية من الحرارة وبالتالي انخفاض درجة حرارة الماء المتبقي, ثم يتم تجميع الماء البارد ضمن حوض ليعاد استخدامه.

## Cooling Tower



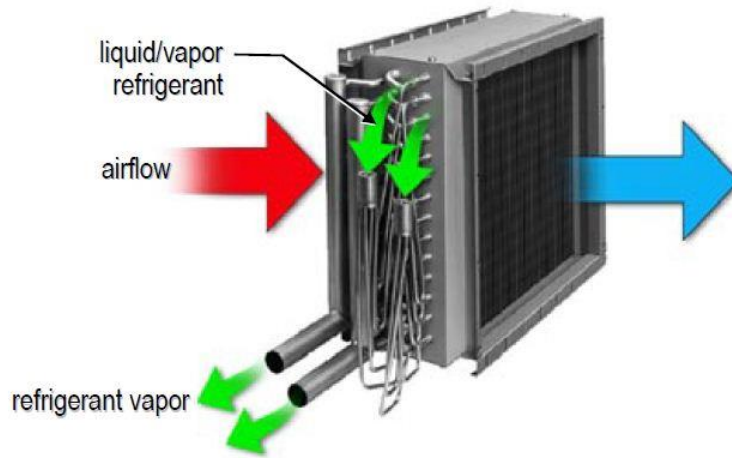
## المبخرات Evaporators:

هناك نوعان أساسيان من المبخرات:

### 1- المبخر ذو الأنابيب المزعفة Finned-Tube Evaporator:

يتكون هذا المبخر من عدة صفوف من الأنابيب يتوضع عليها زعانف لزيادة سطح التبادل الحراري, حيث يمر سائل وسيط التبريد خلال الأنابيب, ونتيجة لتلامس الهواء الساخن مع هذه الأنابيب الباردة تنتقل الحرارة من الهواء إلى وسيط التبريد مما يؤدي إلى انخفاض درجة حرارة الهواء وإلى تبخر سائل وسيط التبريد بالكامل, ويتم تحميص بخار وسيط التبريد (Superheating) في الأجزاء الأخيرة من الأنابيب.

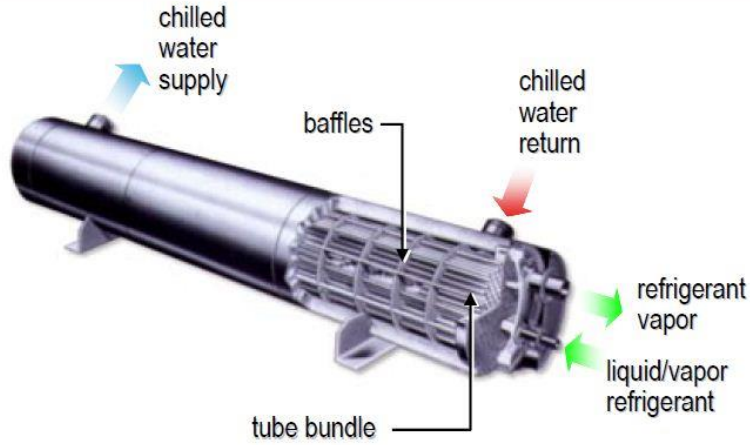
## Finned-Tube Evaporator



### 2- مبخر الغلاف والأنبوب Shell and Tube Evaporator:

يستخدم هذا المبخر إذا كان الغرض الحصول على ماء بارد, حيث يتم تمرير سائل وسيط التبريد من خلال الأنابيب بينما يغمر الماء الغلاف المحيط بالأنابيب وبالتالي تنتقل الحرارة من الماء إلى وسيط التبريد مما يؤدي إلى انخفاض درجة حرارة الماء وتبخر سائل وسيط التبريد بالكامل.

## Shell-and-Tube Evaporator



### صمام التمدد Expansion Device:

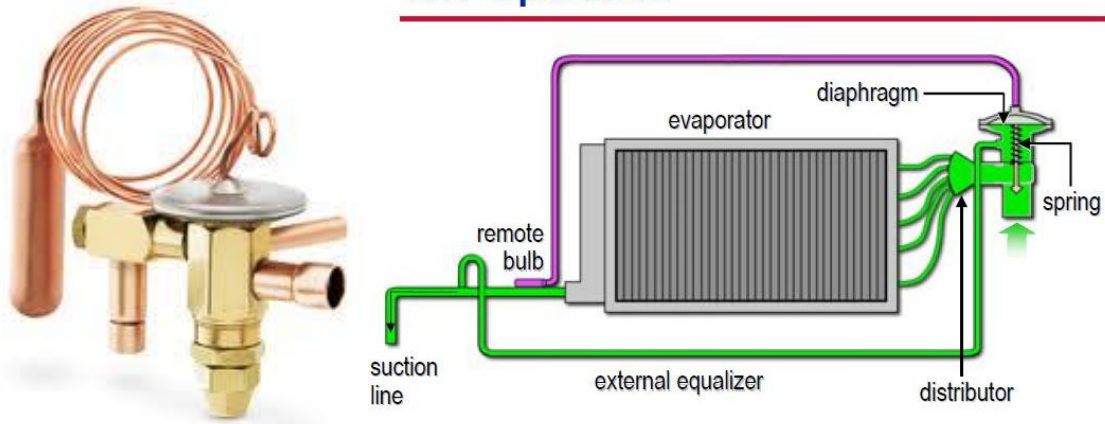
الغاية من صمام التمدد هي المحافظة على فرق الضغط بين المكثف والمبخر عند قيمة معينة وبالتالي اكتمال عمل دورة التبريد.

أشهر نوع من أنواع صمامات التمدد هو صمام التمدد الترموستاتي.

### صمام التمدد الترموستاتي Thermostatic Expansion Valve TXV:

يقوم صمام التمدد الترموستاتي بالمحافظة على فرق الضغط بين المكثف والمبخر والتحكم بكمية سائل وسيط التبريد الداخل إلى المبخر, ويتأكد الصمام من تبخر وسيط التبريد بالكامل وتحميص بخار وسيط التبريد.

## TXV Operation



# المضخة الحرارية

## Heat Pump



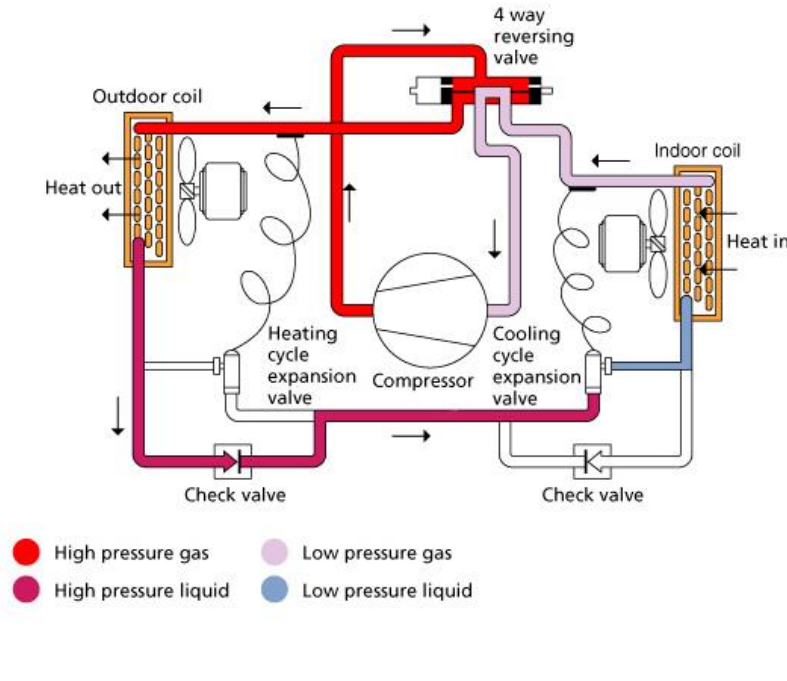
## المضخة الحرارية أو الدارة العكوسة (Heat Pump):

في حال استخدام الدارة العكوسة – حالة تبريد:

يعتبر المبادل الحراري الذي يتبادل الحرارة مع الوسط الداخلي المراد تبريده هو المبخر، أما المبادل الحراري الذي يتبادل الحرارة مع الوسط الخارجي فيكون هو المكثف. حيث يتم تمرير وسيط التبريد من الضاغط إلى الصمام الرباعي ومنه إلى المكثف ثم إلى صمام التمدد ثم إلى المبخر الذي يقوم بسحب الحرارة من الوسط المراد تبريده وبالتالي الحصول على الأثر التبريدي.

وهذه الحالة موضحة في الشكل التالي:

### REVERSE CYCLE HEAT PUMP – COOLING CYCLE



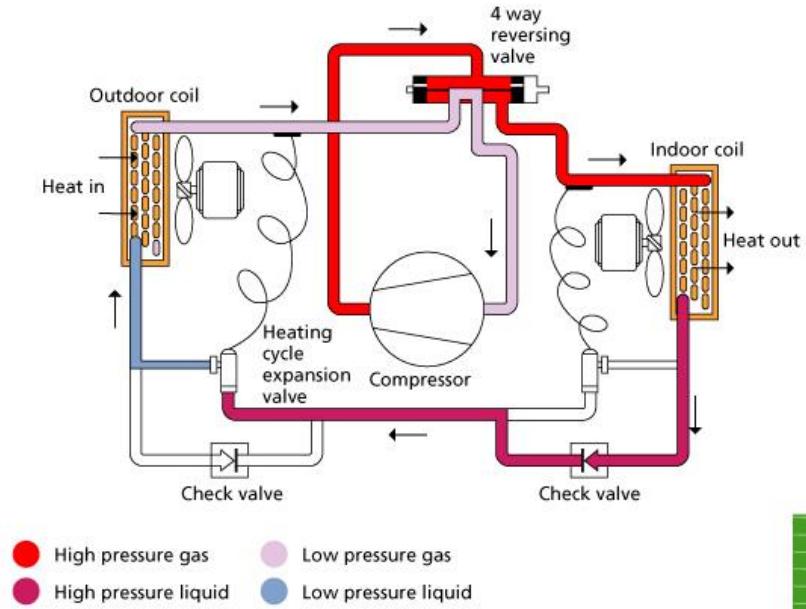
إن مبدأ عمل الدارة العكوسة هو ببساطة تغيير مسار وسيط التبريد بحيث يتم تمريره من الضاغط إلى المبادل الحراري الداخلي ليتم تدفئة المكان بدلاً من تمريره إلى المبادل الحراري الخارجي.

في حال استخدام الدارة العكوسة – حالة تدفئة:

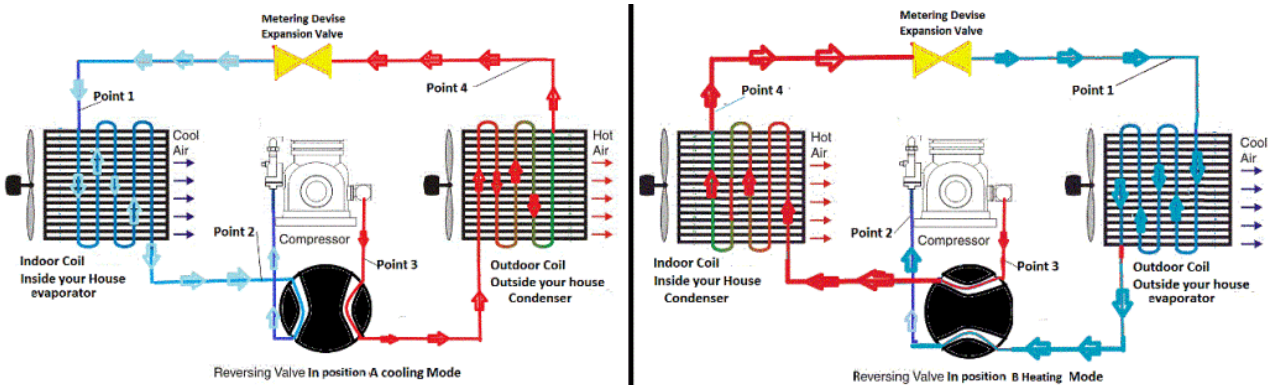
يتم تمرير وسيط التبريد من الضاغط إلى الصمام الرباعي والذي بدوره يمرر وسيط التبريد إلى الوسط المراد تدفئته في الداخل وبالتالي يصبح المبادل الحراري داخل الغرفة عبارة عن مكثف ثم

يمر إلى صمام التمدد ومنه إلى المبخر الذي يتبادل حرارته مع الوسط الخارجي كما هو موضح بالشكل:

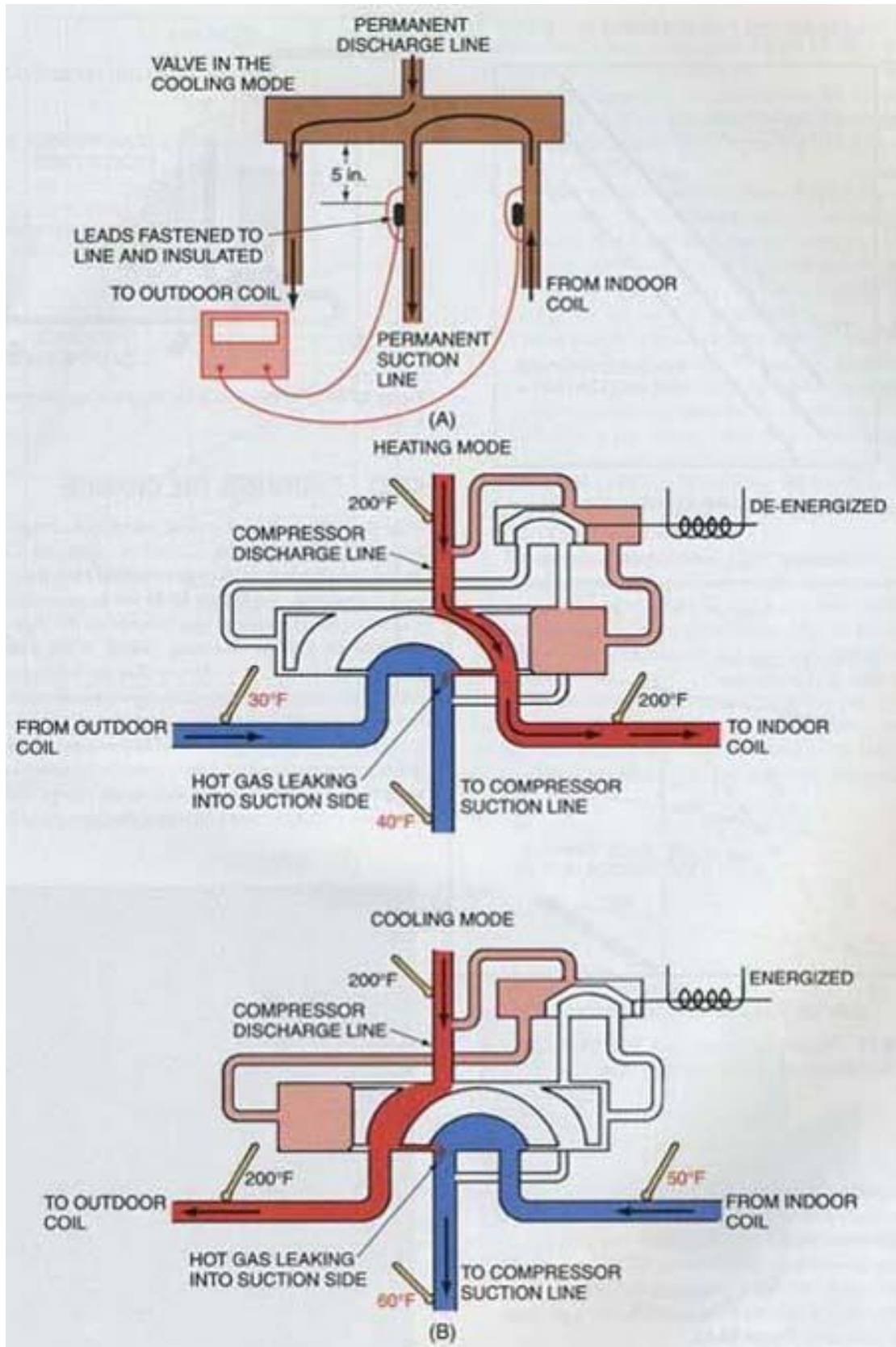
### REVERSE CYCLE HEAT PUMP – HEATING CYCLE



ويمكن تبسيط الدارة العكوسة بالشكل التالي:



ومبدأ عمل الصمام الرباعي موضح بالشكل:



## اختيار جهاز التكييف

## Selection Procedure

## اختيار جهاز التكييف : Selection Procedure

بعد حساب الأحمال الحرارية عن طريق البرنامج وتحديد نوع الجهاز المراد استخدامه يجب اتباع عدة خطوات في عملية اختيار الجهاز, سنجمل هذه الخطوات على شكل مثال.

**مثال:**

بعد دراسة مشروع على برنامج HAP كان التقرير كالتالي:

Air System Sizing Summary for Package Unit		11/24/2012 01:10PM
Project Name: Grand Masjid		
Prepared by: HVAC Office		

### Air System Information

Air System Name ..... Package Unit  
Equipment Class ..... PKG ROOF  
Air System Type ..... SZCAV

Number of zones ..... 1  
Floor Area ..... 280.8 m<sup>2</sup>  
Location ..... Aleppo, Syria

### Sizing Calculation Information

#### Zone and Space Sizing Method:

Zone L/s ..... Sum of space airflow rates  
Space L/s ..... Individual peak space loads

Calculation Months ..... Jan to Dec  
Sizing Data ..... Calculated

### Central Cooling Coil Sizing Data

Total coil load	72.0	kW
Sensible coil load	46.0	kW
Coil L/s at Jul 1200	4205	L/s
Max block L/s	4205	L/s
Sum of peak zone L/s	4205	L/s
Sensible heat ratio	0.639	
m <sup>2</sup> /kW	3.9	
W/m <sup>2</sup>	256.4	
Water flow @ 5.0 °K rise	N/A	

Load occurs at	Jul 1400
OA DB / WB	40.5 / 27.8 °C
Entering DB / WB	25.0 / 19.0 °C
Leaving DB / WB	13.9 / 13.3 °C
Coil ADP	12.3 °C
Bypass Factor	0.100
Resulting RH	52 %
Design supply temp.	14.0 °C
Zone T-stat Check	1 of 1 OK
Max zone temperature deviation	0.0 °K

### Central Heating Coil Sizing Data

Max coil load	20.2	kW
Coil L/s at Des Htg	4205	L/s
Max coil L/s	4205	L/s
Water flow @ 15.0 °K drop	N/A	

Load occurs at	Des Htg
W/m <sup>2</sup>	109.5
Ent. DB / Lvg DB	17.9 / 26.3 °C

### Supply Fan Sizing Data

Actual max L/s	4205	L/s
Standard L/s	4012	L/s
Actual max L/(s-m <sup>2</sup> )	14.98	L/(s-m <sup>2</sup> )

Fan motor BHP	1.50	BHP
Fan motor kW	1.12	kW
Fan static	160	Pa

### Outdoor Ventilation Air Data

Design airflow L/s	504	L/s
L/(s-m <sup>2</sup> )	1.80	L/(s-m <sup>2</sup> )

L/s/person	2.52	L/s/person
------------	------	------------

والمطلوب تحديد موديل جهاز التكييف نوع بكج مزود بوشية تسخين من خلال النشرة الفنية.

## خطوات الاختيار:

1- نحدد من التقرير جميع البيانات اللازمة في اختيار الجهاز وهي كالتالي:

استطاعة التبريد الكلية المطلوبة: 72 Kw

استطاعة الحمل المحسوس: 46 Kw

درجة الحرارة الخارجية الجافة الموافقة لساعة الذروة: 40.5 °C

درجة الحرارة الجافة / الرطبة للهواء الداخل إلى وشيعة التبريد: 25.0 °C / 19.0 °C

التدفق المطلوب: 4205 l/s

هبوط الضغط المتوقع: 160 Pa

استطاعة التسخين المطلوبة: 20.2 Kw

التغذية الكهربائية: 400/3/50

2- من النشرة الفنية لجهاز التكييف وعند درجة الحرارة الجافة الخارجية 40.5 °C ودرجة الحرارة الرطبة للهواء الداخل لوشيعة التبريد 19 °C وعند قيمة تدفق الهواء الأقرب للتدفق المحسوب بالبرنامج 4248 l/s نحسب القيمة الفعلية للحرارة الكاملة والمحسوسة التي يستطيع الجهاز تقديمها بدقة عند الشروط المذكورة.

نلاحظ من النشرة الفنية أن الموديل 50TJ024 يعطينا استطاعة تبريد فعلية كلية 66.1 Kw ومحسوسة 52.6 Kw وهي غير كافية، وحتى لو انتقلنا إلى جدول التدفق الأعلى 4720 l/s فإن الاستطاعة لن تكون كافية وبالتالي هذا الموديل مرفوض، لذلك ننتقل إلى الموديل التالي.

50TJ024 (70.3 kW)																
Temp (C) Air Entering Condenser (Edb)		Evaporator Air Quantity — L/s / BF														
		2832/0.075			3304/0.085			3776/0.100			4248/0.110			4720/0.120		
		Evaporator Air — Ewb (C)														
		17	19	22	17	19	22	17	19	22	17	19	22	17	19	22
24	TC	64.3	70.9	76.9	65.9	72.7	78.8	67.2	74.1	80.3	68.4	75.0	81.3	69.7	75.8	82.2
	SHC	55.1	46.5	36.9	59.5	49.7	38.9	63.6	53.0	40.8	67.2	56.0	42.8	69.6	59.1	44.5
	kW	15.1	15.6	16.5	15.2	15.8	16.7	15.4	15.9	16.9	15.5	16.0	17.0	15.7	16.1	17.1
29	TC	62.1	68.5	74.3	63.6	70.2	76.1	64.9	71.4	77.5	66.0	72.3	78.5	67.8	73.1	79.3
	SHC	54.0	45.4	36.0	58.4	48.8	38.0	62.4	51.9	39.9	65.6	54.8	41.7	67.6	57.9	43.5
	kW	16.7	17.2	18.2	16.9	17.4	18.5	17.0	17.6	18.6	17.2	17.7	18.7	17.4	17.8	18.8
35	TC	59.8	65.9	71.6	61.2	67.4	73.2	62.4	68.6	74.4	63.8	69.4	75.3	65.3	70.0	76.1
	SHC	53.0	44.4	35.0	57.1	47.7	37.0	61.0	50.7	38.9	63.7	53.6	40.6	65.1	56.7	42.4
	kW	18.5	19.0	20.1	18.7	19.2	20.3	18.8	19.3	20.4	19.0	19.4	20.5	19.1	19.5	20.6
40.5	TC	57.0	63.0	68.5	58.4	64.4	70.0	59.7	65.3	71.1	61.4	66.1	71.9	62.8	66.7	72.7
	SHC	51.6	43.3	33.9	55.8	46.5	35.9	59.3	49.4	37.7	61.3	52.6	39.5	62.6	55.4	41.3
	kW	20.3	20.8	22.0	20.5	21.0	22.2	20.6	21.1	22.3	20.8	21.2	22.4	21.0	21.3	22.6
46	TC	54.2	59.9	65.2	55.6	61.2	66.6	57.1	62.1	67.6	58.7	62.7	68.3	60.0	63.2	68.9
	SHC	50.2	42.0	32.8	54.3	45.3	34.7	56.9	48.3	36.5	58.6	51.1	38.3	59.8	53.7	40.0
	kW	22.1	22.7	23.9	22.3	22.8	24.1	22.5	23.0	24.2	22.7	23.1	24.3	22.9	23.2	24.4
52	TC	51.2	56.6	—	52.7	57.6	—	54.3	58.4	—	55.9	59.0	—	57.0	59.4	—
	SHC	48.7	40.7	—	52.3	43.8	—	54.2	47.0	—	55.7	49.6	—	56.9	52.1	—
	kW	24.0	24.6	—	24.2	24.7	—	24.4	24.9	—	24.6	25.0	—	24.8	25.0	—

من النشرة الفنية للموديل التالي 50TJ028 نلاحظ أن استطاعة التبريد الكلية الفعلية 80.4 Kw والمحسوسة 60.1 Kw عند تدفق هواء 4248 l/s ويكون عندها عامل الإمرار الجانبي BF=0.07

50TJ028 (87.9 kW) (Standard Fan)																
Temp (C) Air Entering Condenser (Edb)		Evaporator Air Quantity — L/s / BF														
		3304/0.05			3776/0.06			4248/0.07			4720/0.08			5310/0.09		
		Evaporator Air — Ewb (C)														
		17	19	22	17	19	22	17	19	22	17	19	22			
24	TC	79.4	87.6	96.5	81.2	89.6	98.6	82.7	91.0	100.3	83.9	91.9	101.6	85.7	93.4	102.6
	SHC	67.7	57.2	46.5	72.6	60.7	48.4	77.5	64.4	51.2	81.7	68.7	53.3	85.6	72.6	56.9
	kW	20.1	20.8	21.6	20.3	21.0	21.8	20.4	21.2	22.0	20.6	21.3	22.2	20.8	21.5	22.3
29	TC	76.6	84.5	93.1	78.3	86.4	95.0	79.8	88.0	96.6	81.0	89.1	98.1	83.1	90.4	99.1
	SHC	66.5	55.9	45.0	71.2	59.4	47.4	75.6	62.9	49.4	79.7	66.4	51.6	83.0	70.5	54.5
	kW	22.2	23.0	23.8	22.4	23.2	24.0	22.6	23.4	24.2	22.8	23.5	24.4	23.0	23.7	24.5
35	TC	73.7	81.2	89.4	75.2	83.0	91.1	76.7	84.2	92.7	78.1	85.5	94.0	80.3	86.6	95.2
	SHC	65.0	54.6	44.0	69.7	58.1	46.0	74.1	61.8	48.1	77.7	64.8	50.1	80.2	68.9	53.0
	kW	24.6	25.3	26.1	24.7	25.5	26.3	24.9	25.7	26.5	25.1	25.8	26.7	25.4	26.0	26.9
40.5	TC	70.5	77.8	85.4	71.9	79.2	87.2	73.5	80.4	88.6	75.0	81.4	89.6	77.2	82.5	90.4
	SHC	63.3	53.3	42.6	68.0	56.5	44.7	72.0	60.1	46.6	75.0	63.3	48.8	77.1	67.2	51.6
	kW	27.0	27.8	28.6	27.2	28.0	28.8	27.4	28.1	29.0	27.6	28.3	29.2	27.9	28.4	29.3
46	TC	67.1	74.0	81.2	68.4	75.3	82.5	70.0	76.4	83.6	71.9	77.3	—	73.8	78.2	—
	SHC	61.9	51.8	41.0	66.2	55.0	43.1	69.8	58.4	44.9	71.8	61.7	—	73.8	65.4	—
	kW	29.5	30.3	31.1	29.7	30.5	31.3	30.0	30.7	31.5	30.2	30.8	—	30.5	31.0	—
48	TC	66.1	72.7	—	67.4	73.9	—	68.9	74.8	—	70.6	75.5	—	72.4	—	—
	SHC	61.4	51.3	—	65.6	54.5	—	68.8	57.8	—	70.5	61.1	—	72.4	—	—
	kW	30.3	31.1	—	30.5	31.2	—	30.7	31.4	—	31.0	31.5	—	31.2	—	—
49	TC	65.2	—	—	66.6	—	—	68.4	—	—	70.0	—	—	—	—	—
	SHC	60.9	—	—	65.2	—	—	68.4	—	—	70.0	—	—	—	—	—
	kW	30.8	—	—	31.0	—	—	31.3	—	—	31.5	—	—	—	—	—

لكن جميع النشرات الفنية لأجهزة التكييف تعطينا قيمة الحرارة المحسوسة عند درجة حرارة جافة للهواء الداخل لوشية التبريد تساوي 26.7 °C, لذلك يجب تعديل الحرارة المحسوسة وفق القانون التالي:

$$SHC_{Corr} = SHC + [1.23 \times 10^{-3} \times (1-BF) \times (DBT-26.7) \times Q]$$

$SHC_{Corr}$  - الحرارة المحسوسة المعدلة, Kw

SHC - الحرارة المحسوسة المستخرجة من النشرة الفنية, Kw

BF - عامل الإمرار الجانبي, وهو متغير حسب التدفق

DBT - درجة الحرارة الجافة الفعلية للهواء الداخل لوشية التبريد, °C

Q - تدفق الهواء الفعلي, l/s

بالتعويض في المعادلة:

$$SHC_{Corr} = 60.1 + [1.23 \times 10^{-3} \times (1-0.07) \times (25-26.7) \times 4248]$$

$$SHC_{Corr} = 51.8 \text{ Kw}$$

مع ملاحظة أن قيمة استطاعة التبريد الكلية والمحسوسة المعدلة لا تتضمن الحرارة الناتجة عن محرك مروحة المبخر, وسيتم إضافة هذه الحرارة لاحقاً.

3- الخطوة التالية هي اختيار وشيعة التسخين اللازمة لتأمين حمل التدفئة المطلوب. من النشرة الفنية وحسب التغذية الكهربائية 400v نلاحظ أن استطاعة وشيعة التسخين الأقرب لحمل التدفئة هي 22.5 Kw وهي تعمل على مرحلتين, كل مرحلة تغطي نصف الاستطاعة.

ELECTRIC RESISTANCE HEATER DATA (400-3-50 Units Only)

UNIT 50TJ	HEATER kW Unit Voltage			HEATER STAGES	% HEAT PER STAGE	MAXIMUM STAGES*	MINIMUM HEATING AIRFLOW	
	380	400	416				L/s	cfm
016	20.3	22.5	24.3	2	50/50	2	2124	4500
	34.5	38.2	41.1	2	67/33	3		
	50.0	55.4	59.7	2	50/50	4		
024	20.3	22.5	24.3	2	50/50	2	2832	6000
	34.5	38.2	41.1	2	67/33	3		
	50.0	55.4	59.7	2	50/50	4		
028	20.3	22.5	24.3	2	50/50	2	3303	7000
	34.5	38.2	41.1	2	67/33	3		
	50.0	55.4	59.7	2	50/50	4		

ومن الجدول الخاص بتقدير هبوط الضغط لوشيعة التسخين نحدد هبوط الضغط لهذه الوشيعة كما هو مبين بالجدول:

ACCESSORY/FIOP STATIC PRESSURE (Pa) — 50TJ024,028

COMPONENT	L/s				
	2800	3400	4247	4719	5300
Economizer	17	22	27	30	35
Glycol Coil	86	109	144	164	191
Electric Heat (kW)					
22.5	22	27	37	43	50
38.2	28	35	45	53	61
55.4	36	46	57	65	75

أي أن هبوط الضغط المتوقع لوشيعة التسخين الكهربائية ذات الاستطاعة 22.5 Kw والتي تم اختيارها هو 37 Pa.

4- نقوم بتحديد سرعة مروحة المبخر المطلوبة مع استطاعة محرك المروحة من خلال الجدول الخاص بها, لكن في البداية نحسب هبوط الضغط الكلي والذي يساوي إلى هبوط الضغط الخارجي مضافاً إليه هبوط الضغط ضمن وشيعة التسخين, أي أن:

$$\text{Total Static Pressure} = 160 + 37 = 197 \text{ Pa}$$

من الجدول, وعند تدفق 4249 l/s وهبوط ضغط 199 Pa, نلاحظ أن سرعة دوران مروحة المبخر المطلوبة هي 20 r.p.s واستطاعة الدخول لمحرك المروحة تساوي 4332 W



FAN PERFORMANCE — 50TJ016-028 — SI (cont)

50TJ028 (87.9 kW)*																					
Airflow (L/s)	Available External Static Pressure (Pa)																				
	50			100			149			199			249			299			349		
	r/s	BkW	W	r/s	BkW	W	r/s	BkW	W	r/s	BkW	W	r/s	BkW	W	r/s	BkW	W	r/s	BkW	W
3305	14.1	2.41	2009	15.1	2.67	2222	16.2	2.93	2441	17.1	3.20	2666	18.1	3.48	2897	19.0	3.76	3133	19.8	4.05	3375
3541	14.9	2.82	2355	15.9	3.09	2574	16.9	3.36	2799	17.8	3.63	3029	18.7	3.92	3264	19.6	4.20	3504	20.4	4.50	3750
3777	15.8	3.28	2735	16.7	3.55	2961	17.7	3.83	3191	18.5	4.11	3427	19.4	4.40	3667	20.2	4.69	3911	21.0	4.99	4161
4013	16.7	3.78	3153	17.6	4.06	3384	18.4	4.34	3620	19.3	4.63	3861	20.1	4.93	4106	20.9	5.22	4355	21.6	5.53	4608
4249	17.6	4.33	3608	18.4	4.61	3845	19.2	4.90	4087	20.0	5.20	4332	20.8	5.50	4582	21.6	5.80	4836	22.3	6.11	5094
4485	18.4	4.92	4102	19.2	5.21	4345	20.0	5.51	4592	20.8	5.81	4843	21.5	6.12	5097	22.3	6.43	5356	23.0	6.74	5618
4721	19.3	5.56	4635	20.1	5.86	4884	20.8	6.16	5137	21.6	6.47	5393	22.3	6.78	5652	23.0	7.10	5915	23.7	7.42	6182
4957	20.2	6.25	5210	20.9	6.56	5464	21.7	6.87	5722	22.4	7.18	5983	23.1	7.50	6248	23.7	7.82	6515	24.4	8.14	6786
5193	21.1	6.99	5826	21.8	7.30	6086	22.5	7.62	6349	23.2	7.94	6616	23.8	8.26	6885	24.5	8.59	7157	25.1	8.92	7432
5311	21.5	7.38	6151	22.2	7.69	6413	22.9	8.01	6679	23.6	8.34	6948	24.2	8.66	7219	24.9	8.99	7494	25.5	9.32	7771

50TJ028 (87.9 kW)* (cont)						
Airflow (L/s)	Available External Static Pressure (Pa)					
	399			448		
	r/s	BkW	W	r/s	BkW	W
3305	20.7	4.34	3621	21.5	3.63	3873
3541	21.2	4.80	4000	22.0	4.11	4255
3777	21.8	5.30	4414	22.5	4.63	4673
4013	22.4	5.84	4866	23.1	5.20	5128
4249	23.0	6.42	5355	23.7	5.81	5621
4485	23.7	7.06	5883	24.4	6.47	6153
4721	24.4	7.74	6451	25.0	7.18	6724
4957	25.1	8.47	7060	25.7	7.94	7337
5193	25.8	9.25	7710	—	—	—
5311	—	—	—	—	—	—

ملاحظة:

من جدول أداء المروحة السابق, في حال كان مقدار هبوط الضغط المتوقع أعلى من القيم الموجودة في الجدول, فإن المروحة لن تكون قادرة على تقديم التدفق المطلوب, وفي هذه الحالة نلجأ إلى تخفيض هبوط الضغط بتقليل الضياعات عن طريق تكبير أبعاد مجرى الهواء وتقليل عدد الوصلات كالأكواع والتفريعات إن أمكن الأمر, أو نلجأ إلى تكبير محرك المروحة إذا سمحت الشركة المصنعة بهذا الأمر, أو قد نضطر إلى إضافة مروحة راجع لها نفس التدفق المطلوب وتؤمن هبوط الضغط الإضافي اللازم.

5- أخيراً نحدد الاستطاعة الفعلية الكلية والمحسوسة الصافية بعد الأخذ بعين الاعتبار الحرارة المضافة من قبل محرك مروحة التبخير, أي أن:

$$\text{Net Total Cooling Capacity} = 80.4 - 4.332 = 76.1 \text{ Kw}$$

$$\text{Net Sensible Cooling Capacity} = 51.8 - 4.332 = 47.5 \text{ Kw}$$

وبما أن الاستطاعة الكلية والمحسوسة الصافية التي يقدمها الجهاز أعلى من المطلوبة, فإن اختيار الموديل 50TJ028 صحيح.

## ملاحظة 1:

يمكن حساب درجة حرارة الهواء الجافة الفعلية الخارجة من وشيعة التبريد ومقارنتها مع المفروضة في البرنامج من العلاقة:

$$LDBT = EDBT - [1000 \times SHC / 1.23 \times Q]$$

LDBT- درجة حرارة الهواء الجافة الخارجة من الوشيعة, °C

EDBT- درجة حرارة الهواء الجافة الداخلة إلى الوشيعة, °C

SHC- كمية الحرارة المحسوسة الفعلية, Kw

Q- تدفق الهواء, l/s

بالتعويض نجد:

$$LDBT = 25 - [1000 \times 47.5 / 1.23 \times 4247] = 15.9 \text{ °C}$$

## ملاحظة 2:

تم اختيار مثال عام ومعقد نسبياً لتغطية الحالة الأشمل, لكن عملياً ربما لا نتبع جميع الحالات المشروحة سابقاً وذلك حسب البيانات المتوفرة بين أيدينا من النشرات الفنية.

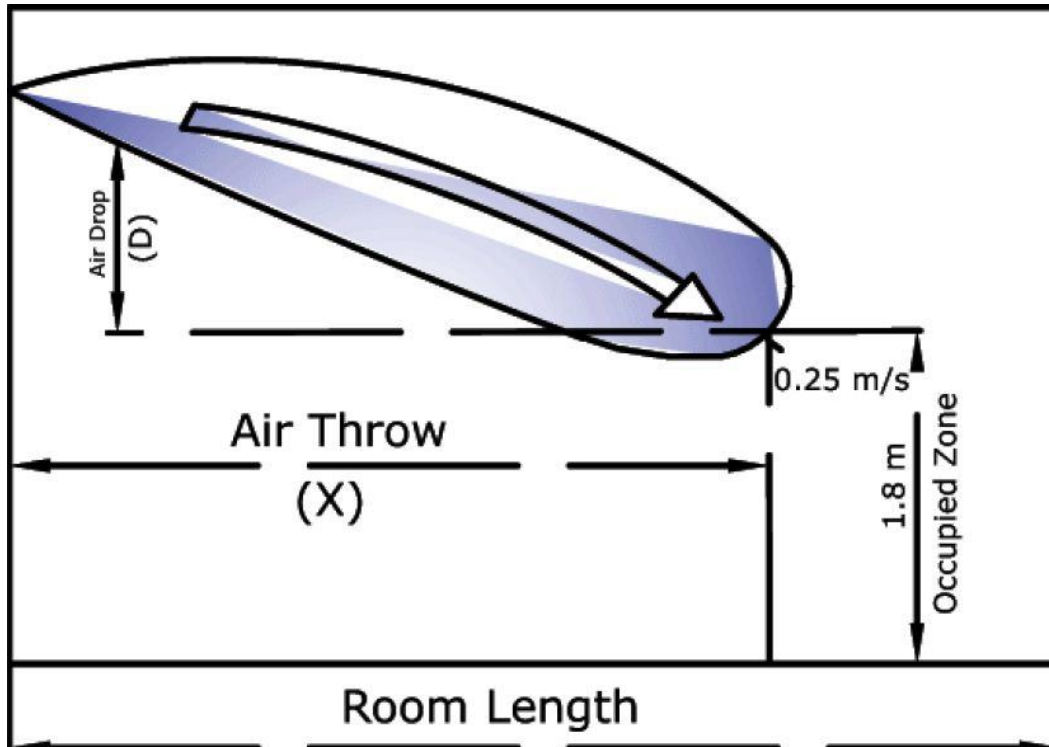
# فتحات الهواء

# Air Outlets

## فتحات الهواء Air Outlets

### تعريف هامة:

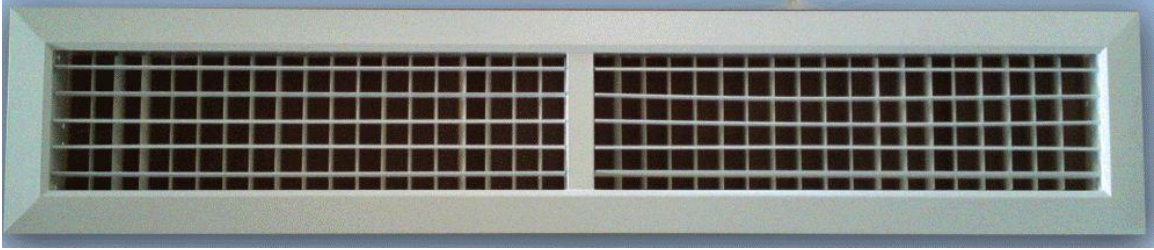
- فتحة Grille: عبارة عن فتحة هواء بسيطة تتميز بصف واحد أو اثنين من الشفرات يمكن أن تكون جدارية أو سقفية.
- فتحة Register: عبارة عن فتحة Grille مزودة بمعير تدفق هواء Damper.
- معير تدفق الهواء Volume Damper: عبارة عن أداة للتحكم بمقدار الهواء المار في مجرى الهواء أو الفتحة.
- مسافة القذف Throw: هي المسافة الأفقية أو الشاقولية التي يقطعها الهواء اعتباراً من الفتحة وحتى الوصول عند سرعة معينة للهواء عادة ما تكون  $0.5 \text{ m/s}$  أو  $0.25 \text{ m/s}$
- الهبوط Drop: عبارة عن المسافة الشاقولية التي يقطعها الهواء اعتباراً من مخرج الفتحة وحتى الوصول إلى مسافة القذف المحددة عند سرعة معينة
- النسبة الباعية Aspect Ratio: هي عبارة عن النسبة بين البعد الأكبر لفتحة الهواء إلى البعد الأصغر.
- المساحة الفعالة Effective Area: عبارة عن المساحة الصافية
- المنطقة المشغولة Occupied Zone: هي الحيز من الفراغ الواقع بين أرضية الغرفة حتى ارتفاع 1.8 متر



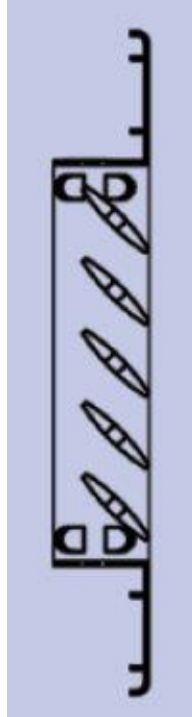
## أنواع فتحات الهواء:

يوجد أشكال عديدة من فتحات الهواء لكن الأكثر استخداماً هي:

**1- فتحات Grille:** عبارة عن فتحة بصف واحد أو صفين من الشفرات القابلة للتحرك والتوجيه في حال كانت الفتحة لإرسال الهواء كما هو في الشكل:



أو صف واحد من الشفرات الثابتة والمائلة بزاوية  $45^\circ$  في حال كانت فتحة راجع كما في الشكل التالي:



يتم اختيار الفتحة من النشرة الفنية بعد معرفة تدفق الهواء المار خلال الفتحة وبدلالة مستوى الضجيج أو مسافة قذف الهواء أو انخفاض الضغط، والنشرة الفنية التالية مثال على ما ذكر:

Air flow V		BxH	Throw (X) in m	Effective velocity $V_K$	Pressure drop	NR
m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /s	mm	at 0.25 m/s	m/s	pa	db
150	0.042	200x100	7.7	2.6	12	23
		300x100	4.8	1.7	4.3	21
200	0.056	200x100	9.1	3.4	18.8	27
		300x100	6.3	2.2	7.1	21
		400x100	5.3	1.7	3.3	18
250	0.069	200x100	8.9	4.3	27	33
		300x100	6.3	2.8	12	25
		400x100	5.5	2.1	6	21
		300x150	4.3	1.8	2.7	20
300	0.083	300x100	8.9	3.4	14	28
		400x100	7.1	2.5	8.6	26
		500x100	5.8	2	4.2	20
		300x150	5.6	2.1	5.2	23
		400x150	4.8	1.6	2.7	20
350	0.097	300x100	10.4	3.9	22	36
		400x100	7.8	2.9	12	31
		500x100	7.1	2.3	6.2	24
		300x150	6.9	2.5	6.8	28
		400x150	5.7	1.8	3.8	24
		500x150	4.4	1.5	1.8	21
400	0.111	400x100	9.7	3.3	17	35
		500x100	7.9	2.7	9.2	31
		400x150	6.3	2.1	4.3	28
		500x150	5.7	1.7	2.4	22
		300x200	6.6	2.1	4.6	23
		400x200	5.3	1.6	2.3	19
		500x200	4.7	1.2	1.9	18

## 2- ناشرات سقفية Ceiling Diffuser:

عبارة عن فتحات مربعة الشكل أو مستطيلة أو دائرية بصف ثابت من الشفرات تركيب ضمن السقف المستعار وتقوم بقذف الهواء بشكل أفقي، ويمكن استخدامها كفتحات إرسال أو راجع، ويمكن استخدامها إذا كان ارتفاع مستوى التركيب عن الأرض 3 متر، على ألا يتجاوز هذا الارتفاع 3.5 متر مع استخدام فتحات راجع قرب مستوى الأرض.

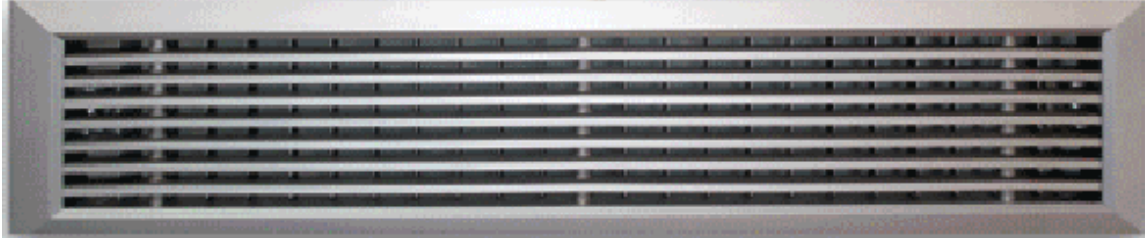


والنشرة الفنية التالية لنشر هواء مربع الشكل:

GSD Square Ceiling Diffuser		PERFORMANCE DATA									
Nom. Neck Size (mm)	Jet Velocity	m/s	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0
A=(Area m <sup>2</sup> )	Nom. Neck Velocity	m/s	1.5	1.8	2.2	2.6	2.9	3.3	3.6	4.0	4.4
150 A=(0.023) Ak= .0088	Flow	(m <sup>3</sup> /s)	0.035	0.044	0.053	0.062	0.071	0.079	0.088	0.097	0.106
		(m <sup>3</sup> /h)	127	159	191	222	254	286	318	349	381
	Pt	(Pa)	8.96	13.8	19.7	26.6	32.4	41.1	52.3	64.0	75.8
	NC	NC	<20	<20	23	27	31	34	37	40	42
	Throw	(m)	1-2-3	1-2-3	2-2-4	2-3-4	2-3-4	2-3-4	2-3-5	2-3-5	2-3-5
225 A=(0.051) Ak= .0187	Flow	(m <sup>3</sup> /s)	0.075	0.093	0.112	0.131	0.149	0.168	0.187	0.205	0.224
		(m <sup>3</sup> /h)	269	336	403	471	538	605	672	739	807
	Pt	(Pa)	8.69	12.9	18.7	24.9	32.4	39.8	49.8	59.8	74.7
	NC	NC	<20	<20	24	28	32	35	38	41	43
	Throw	(m)	2-3-4	2-3-5	2-4-5	3-4-6	3-4-6	3-4-6	3-5-7	3-5-7	4-5-7
300 A=(0.09) Ak= .0318	Flow	(m <sup>3</sup> /s)	0.127	0.159	0.191	0.222	0.254	0.286	0.318	0.349	0.381
		(m <sup>3</sup> /h)	458	572	686	801	915	1029	1144	1258	1373
	Pt	(Pa)	7.96	12.3	17.7	23.9	31.1	39.2	48.3	58.2	69.1
	NC	NC	<20	20	25	29	33	36	39	42	45
	Throw	(m)	3-4-6	3-4-6	3-5-7	4-5-7	4-5-8	4-6-8	4-6-9	5-6-9	5-7-10
375 A=(0.141) Ak= .0514	Flow	(m <sup>3</sup> /s)	0.205	0.257	0.308	0.360	0.411	0.462	0.514	0.565	0.616
		(m <sup>3</sup> /h)	740	925	1110	1295	1480	1665	1849	2034	2219
	Pt	(Pa)	7.97	11.6	16.8	22.9	30.0	38.1	47.1	57.1	68.1
	NC	NC	<20	21	26	31	35	38	41	44	47
	Throw	(m)	3-5-7	4-5-8	4-6-9	5-7-9	5-7-10	6-7-11	6-8-11	6-8-12	7-9-12
450 A=(0.203) Ak= .0766	Flow	(m <sup>3</sup> /s)	0.307	0.383	0.460	0.536	0.613	0.690	0.766	0.843	0.920
		(m <sup>3</sup> /h)	1104	1380	1655	1931	2207	2483	2759	3035	3311
	Pt	(Pa)	8.22	12.2	17.5	23.8	31.1	39.3	48.5	58.6	69.7
	NC	NC	<20	22	28	33	37	40	43	46	49
	Throw	(m)	4-6-9	5-7-10	6-7-11	6-8-11	7-9-12	7-9-13	7-10-14	8-10-14	8-11-15

### 3- فتحات خطية مع بار Linear Bar Grille:

عبارة عن فتحة تقوم بتوزيع الهواء بشكل خطي نتيجة طولها الذي يصل عادة إلى عشرة أضعاف ارتفاعها أو أكثر، وغالباً ما تستخدم هذه الفتحات عبر الجدران، ويمكن استخدامها كفتحات هواء إرسال وراجع.

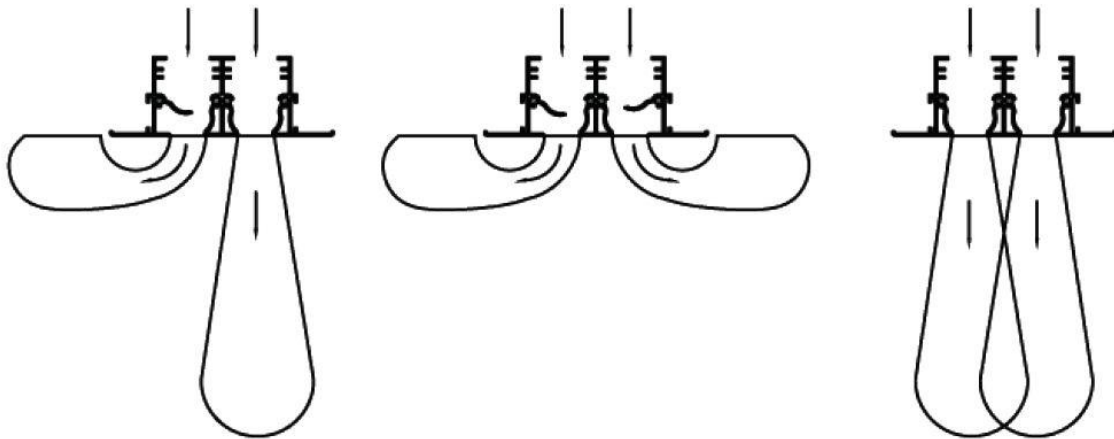


#### 4- ناشرات خطية ذات شق Linear Slot Diffuser

عبارة عن فتحة ناشرة للهواء تحتوي على شق أو أكثر على طول الفتحة وتستخدم للهواء الإرسال أو راجع وعادة ما تركيب ضمن السقف ويبلغ طولها 10 أضعاف عرضها على الأقل.

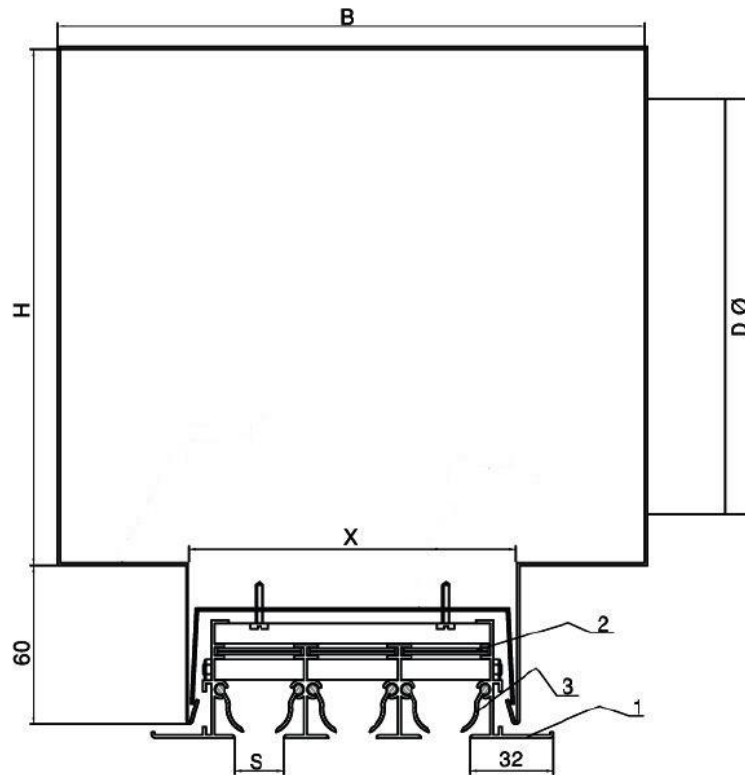


ونتيجة وجود الشقوق الطولية في الفتحة يمكن توجيه الشفرات المتحركة بحيث ترسل الهواء شاقولياً أو أفقياً، والشكل التالي يوضح مقطعاً في الفتحة بوجود شقين مع ثلاثة احتمالات لتوزيع الهواء:



ويتم تركيب الفتحة أسفل صندوق Plenum Box على طول الفتحة، ويتصل هذا الصندوق مع مجرى الهواء الرئيسي بواسطة مجاري مرنة Flexible Duct كما هو موضح في المقطع التالي:





والجدول التالي يوضح نشرة فنية لهذه الفتحة ونلاحظ أن التدفق يكون بالنسبة للمتر الطولي للفتحة:

Air Flow Rate	No. of Slots	Slot Width	Throw it (m)		Pressur Drop	Sound Level
			min	max		
m <sup>3</sup> /h.m	.No	(mm)			Pt (pa)	Nr
100	1	16	2.9	6.25	16	17
	1	20	2.6	5.7	14	16
	1	25	2	4.5	11	14
150	1	16	6	10.5	40	36
	2	16	4	9.25	11	20
	1	20	4.8	8.5	31	23
	2	20	3.4	7.5	9	15
	1	25	4	7	26	25
	2	25	2.8	6.5	7	15
200	2	16	6	12.5	20	24
	3	16	4.6	11	9	21
	2	20	5	10.5	16	20
	3	20	4	9	8	16
	2	25	4	8.5	13	17
	3	25	3	6.5	6	15

### 5- فوهات النفث Jet Nozzles

عبارة عن فتحة دائرية الشكل مكونة من عدة حلقات متداخلة تستخدم لتأمين قذف هواء كبير كما هو الحال في المساجد والمطارات والصالات الرياضية



### 6- فتحات الهواء الخارجي Fresh Air Louvers

عبارة عن فتحات مصممة لدخول الهواء الخارجي مزودة بشفرات أفقية ثابتة مائلة بزاوية  $45^\circ$  ويسمح تصميم الشفرات بدخول الهواء الخارجي لكن لا يسمح بتسرب الماء في حال هطول الأمطار, وأحياناً يتم تزويدها بشبك وقاية.

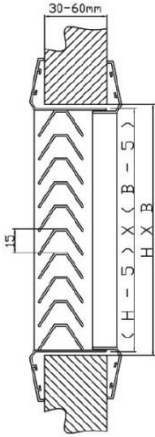


**7- صمامات طرد الهواء Exhaust Air Valve**

عبارة عن فتحات دائرية الشكل مزودة بصمام عياري للتحكم بتدفق الهواء تستخدم لطرد الهواء من الحمامات والمطابخ والمخابر وغيرها.

**8- فتحات الأبواب Door Grille**

يتم تركيب هذه الفتحات ضمن الأبواب أو الجدران الفاصلة وعلى جهتي الباب، والغاية منها تمرير الهواء من حيز إلى آخر

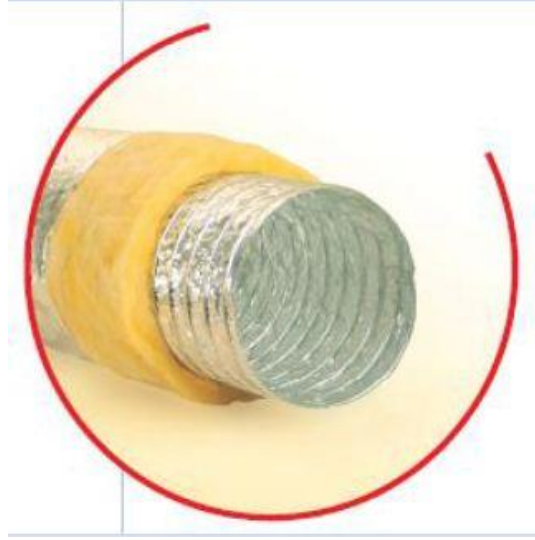


**9- ملحقات Accessories:**

يوجد العديد من الملحقات المستخدمة عادة مع الفتحات ومجاري الهواء مثل المعيرات ومجاري الهواء المرنة والفلاتر ومصائد التراب ودامبر الحريق والدخان وغيرها



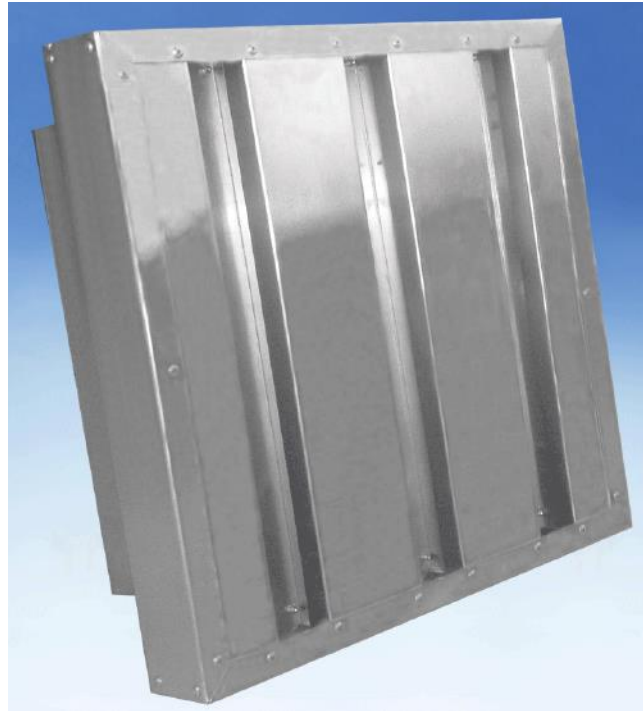
معير تدفق (Volume Damper)



مجري هواء مرن (Flexible Duct)



دامبر حريق (Fire Damper)



صائد تراب (Sand Trap)

# تصميم مجاري الهواء

## Duct Design

## تصميم مجاري الهواء Duct Design

### اعتبارات تصميمية لمجرى الهواء Duct Design Considerations:

عند تصميم مجاري الهواء يراعى ما يلي:

- 1- يجب أن يكون طول المجرى أقل ما يمكن مع استخدام أقل عدد ممكن من الوصلات كالأكواع والتفريعات لتخفيض الكلفة الإنشائية وتخفيض هبوط الضغط في المجرى لأقل حد وبالتالي خفض الكلفة التشغيلية.
- 2- يفضل استخدام مجاري الهواء الدائرية بدلاً من المجاري المستطيلة باعتبار أن هبوط الضغط الناتج عن المجاري الدائرية أقل من مثيلاتها المستطيلة من أجل نفس المحيط.
- 3- عند استخدام المجاري المستطيلة يفضل دائماً أن تكون النسبة الباعية Aspect Ratio (نسبة البعد الأكبر إلى البعد الأصغر) أقرب ما يمكن إلى 1:1 لتقليل الضياعات, ويفضل ألا تتجاوز النسبة 3:1 ويجب ألا تتجاوز النسبة 4:1.
- 4- ليس من الضروري تغيير أبعاد المجرى بعد كل تفريعة, فإذا كان تغيير أحد الأبعاد يحتاج لأقل من 5 Cm فلا داعي لتغيير أبعاد المجرى.
- 5- عند استخدام نقاصة في مجرى الهواء, فيفضل ألا تزيد زاوية ميلان البعد المتغير عن 30° وألا تتجاوز 45° على الإطلاق, أما طول النقاصة فيجب أن يتراوح بين مرة إلى ثلاث مرات من طول البعد الأكبر للمجرى.

الجدول التالي يبين مقاييس مجرى الهواء العالمية حسب سماكة صفيحة الصاج المغلفن:

#### Galvanized sheet thickness:

Thickness in Inches			Weight		Thickness in Millimeters	
Gauge	Nominal	Minimum	Nominal lb/ft <sup>2</sup>	Nominal Kg/m <sup>2</sup>	Nominal	Minimum
30	.0157	.0127	.656	3.20	.3988	.3188
28	.0187	.0157	.781	3.81	.4750	.3950
26	.0217	.0187	.906	4.42	.5512	.4712
24	.0276	.0236	1.156	5.64	.7010	.6010
22	.0336	.0296	1.406	6.86	.8534	.7534
20	.0396	.0356	1.656	8.08	1.006	.906
18	.0516	.0466	2.156	10.52	1.311	1.181

**خطوات تصميم مجاري الهواء بطريقة الاحتكاك المتساوي Equal Friction Method Steps:**

- 1- بعد تحديد تدفق كل فتحة يتم رسم المخطط المبدئي للمجرى Single Line Diagram ويتم حساب التدفقات التراكمية لجميع أجزاء المجرى Section ثم يتم افتراض سرعة ابتدائية للهواء للمقطع الأول Root Section حسب الجدول:

**Recommended Maximum duct velocities for low velocity systems [m/s]**

Application	Controlling factor: noise generation main ducts	Controlling factor: duct friction			
		Main ducts		Branch ducts	
		Supply	Return	Supply	Return
Residence	3	5	4	3	3
Apartments	5	7.5	6.5	6	5
Hotel bedrooms					
Hospital bedrooms					
Private offices	6	10	7.5	8	6
Directors rooms					
Libraries					
Theatres	4	6.5	5.5	5	4
Auditoriums					
General offices	7.5	10	7.5	8	6
High class restaurants					
High class stores					
Banks					
Average store	9	10	7.5	8	6
Cafeterias					
Industrial	12.5	15	9	11	7.5

**1 m/s  $\approx$  200 fpm**

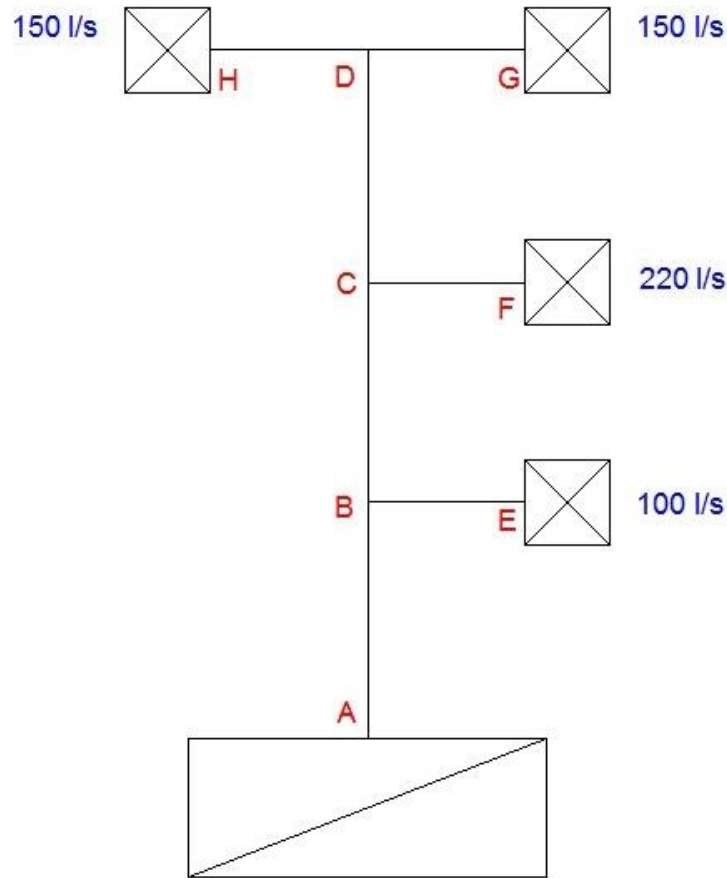
- 2- يتم استخراج مقدار معدل الاحتكاك للمقطع الأول من خلال التدفق والسرعة, كما يتم تحديد مساحة المقطع.
- 3- في حال كان المقطع دائرياً يتم تحديد قطر هذا المقطع, أما في حال كان المقطع مستطيلاً فيتم افتراض قيمة البعد الأول ويتم حساب قيمة البعد الثاني للمستطيل من خلال مساحة المقطع المحسوبة.
- 4- بالنسبة للمقاطع التالية للمقطع الأول يتم حساب أبعادها من خلال تثبيت معدل الاحتكاك الذي تم حسابه في المقطع الأول.

**ملاحظات:**

- 1- باعتبار تم تثبيت معدل الاحتكاك على طول مسار المجرى, فيجب أن تتناقص السرعة كلما قل معدل تدفق الهواء.
- 2- عند تغيير مقطع مجرى الهواء المستطيل فغالباً ما يتم تثبيت أحد الأبعاد وتغيير البعد الآخر بحيث يتم الاقتراب من نسبة 1:1, ولا فرق ما بين تثبيت ارتفاع المجرى أو عرضه.

**مثال:**

المطلوب حساب أبعاد مقاطع مجرى الهواء حسب طريقة الاحتكاك المتساوي للنظام الموضح بالشكل التالي على فرض أنه ضمن مبنى سكني:



بعد أن نحدد مقدار التدفق في كل مقطع, وعلى اعتبار أن النظام موجود في مبنى سكني فإننا نختار سرعة 3 m/s كسرعة ابتدائية للهواء في المقطع الأول.

أي أن التدفق في المقطع **AB** يساوي 620 l/s وعند السرعة 3 m/s نجد من البرنامج أن معدل الاحتكاك يساوي 0.21 Pa/m والقطر المكافئ يساوي: 513 mm



Property	Value	Units
Barometer	101.325	kPa
Average Temperature	13.0/12.0	°C
Duct Roughness	Average	
Pressure Rate	0.21	Pa/m
Volume Flow	620	l/s
Round Duct Velocity	3.00	m/s
Equivalent Diameter	513	mm
Clear Height	250	mm
Clear Width	982	mm

Solved... [Flow, Velocity] [Diam, Height]

على فرض أن ارتفاع المقطع 250 mm نجد أن عرض المقطع 980 mm أي تقريباً 1000 mm وهو مقبول لأن النسبة الباعية لم تتجاوز 4:1

التدفق في المقطع BC يساوي 520 l/s, وبتثبيت معدل هبوط الضغط عند 0.21 Pa/m نجد أن القطر المكافئ 479 mm والسرعة انخفضت إلى 2.89 m/s, وبتثبيت ارتفاع المجرى نجد أن العرض ينخفض إلى 850 mm.

وبنفس الطريقة نحسب جميع المقاطع, والنتائج تكون كما هو موضح في الجدول

Section	Air Flow l/s	Velocity m/s	Pressure Rate Pa/m	Eq. Diameter mm	B* x H mm x mm
AB	620	3	0.21	513	1000 x 250
BC	520	2.89	0.21	479	850 x 250
BE	100	1.9	0.21	259	250 x 250
CD	300	2.52	0.21	390	550 x 250
CF	220	2.33	0.21	347	450 x 250
DH=DG	150	2.11	0.21	301	350 x 250

\*العرض B المحسوب في الجدول هو العرض المصحح.

### حساب هبوط الضغط الستاتيكي Static Pressure Calculation:

لحساب هبوط الضغط الستاتيكي الكلي نحدد في البداية المسار الأسوأ, ثم نحسب ضياعات الضغط الطولانية وضياعات الضغط الموضوعية نتيجة الوصلات Fittings وضياعات الضغط نتيجة وجود بعض العناصر مثل الفلاتر وفتحات الهواء والدامبر ومخفضات الصوت وغيرها.

بالنسبة لضياعات الضغط الطولانية, وبما أنه لدينا معدل هبوط الضغط لكل مقطع, فإننا نحصل على ضياع الضغط الطولاني لهذا المقطع بحاصل جداء طول المقطع بمعدل هبوط الضغط.

أما بالنسبة لضياعات الضغط نتيجة الوصلات فيمكن استخدام الجداول أو البرامج لتقدير هذه الضياعات كما هو الأمر بالنسبة لبرنامج ASHRAE Duct Fittings Database, أو من المعادلة:

$$\Delta P = C \times V_p$$

$\Delta P$  - مقدار هبوط الضغط ضمن الوصلة, Pa

C - ثابت هبوط الضغط للوصلة وهو مقدار لايعدي نحصل عليه من جداول الملحق A للمرجع ASHRAE HVAC System Design SMACNA أو من الفصل F21 Duct Design للمرجع ASHRAE 2009 Fundamentals.

$V_p$  - ضغط السرعة, ويعطى بالعلاقة:

$$V_p = \rho V^2 / 2$$

V - سرعة الهواء, m/s

$\rho$  - كثافة الهواء, وعند الشروط النظامية تساوي  $1.204 \text{ Kg/m}^3$  وبالتالي:

$$V_p = 0.602 V^2 \quad (\text{SI})$$

$$V_p = (V/4005)^2 \quad (\text{IP})$$

بالنسبة لضياعات الضغط الخاصة بالعناصر فيمكن الحصول عليها من النشرات الفنية أو يمكن اعتماد بعض الجداول التي تعطي قيمة تقريبية لها, لكن الأفضل اعتماد النشرة الفنية الخاصة بكل عنصر.

### برنامج ASHRAE Duct Fittings Database:

يسمح هذا البرنامج بتقدير هبوط الضغط للوصلات المستخدمة في مجاري الهواء.

فبعد أن نحدد الوصلة من القائمة الشجرية الموجودة يسار لوحة البرنامج وشكل الوصلة (دائري, مستطيل أو بيضوي) ونوع الوصلة (كوع, تقريعية, نقاصة أو غيره) وتحديد شكل الوصلة بدقة,

نقوم بتحديد بيانات الإدخال ضمن الجدول Input ثم ننقر على الأمر Calculate فيقوم البرنامج بحساب النتائج والتي تشمل السرعة وضغط السرعة وعامل الاحتكاك وهبوط الضغط لهذه الوصلة.

Input		Output	
Height (H, mm)	300	<b>Branch</b>	
Width (Wc, mm)	300	Velocity (Vb, m/s)	3.3
Width (Ws, mm)	150	Vel Pres at Yb (Pvb, Pa)	7
Flow Rate (Qc, L/s)	750	Loss Coefficient (Cb)	2.67
Flow Rate (Qb, L/s)	150	Branch Pressure Loss (Pa)	18
Density (kg/m³)	1.204	<b>Main</b>	
		Velocity (Vs, m/s)	8.0
		Velocity (Vc, m/s)	8.3

ملاحظة:

تختلف درجة خشونة السطح الداخل لمجرى الهواء حسب نوع المادة المستخدمة كما هو موضح بالجدول التالي:

Duct Material	Roughness Category	Absolute Roughness $\epsilon_1$	
		ft	mm
Uncoated carbon steel, clean (Moody 1944) (0.00015 ft) (0.05 mm)	Smooth	0.0001	0.03
PVC plastic pipe (Swim 1982) (0.0003 to 0.00015 ft) (0.01 to 0.05 mm)			
Aluminum (Hutchinson 1953) (0.00015 to 0.0002 ft) (0.04 to 0.06 mm)			
Galvanized steel, longitudinal seams, 4 ft (1200 mm) joints (Griggs 1987) (0.00016 to 0.00032 ft) (0.05 to 0.1 mm)	Medium Smooth	0.0003	0.09
Galvanized steel, spiral seam with 1, 2, and 3ribs, 12 ft (3600 mm) joints (Jones 1979, Griggs 1987) (0.00018 to 0.00038 ft) (0.05 to 0.12 mm)	(New Duct Friction Loss Chart)		
Hot-dipped galvanized steel, longitudinal seams, 2.5ft (760 mm) joints (Wright 1945) (0.0005 ft) (0.15 mm)	Old Average	0.0005	0.15
Fibrous glass duct, rigid	Medium Rough	0.003	0.9
Fibrous glass duct liner, air side with facing material (Swim 1978) (0.005 ft) (1.5 mm)			
Fibrous glass duct liner, air side spray coated (Swim 1978) (0.015 ft) (4.5 mm)	Rough	0.01	3.0
Flexible duct, metallic, (0.004 to 0.007 ft (1.2 to 2.1 mm) when fully extended)			
Flexible duct, all types of fabric and wire (0.0035 to 0.015 ft (1.0 to 4.6 mm) when fully extended)			
Concrete (Moody 1944) (0.001 to 0.01 ft) (0.3 to 3.0 mm)			

# تصميم الأنابيب

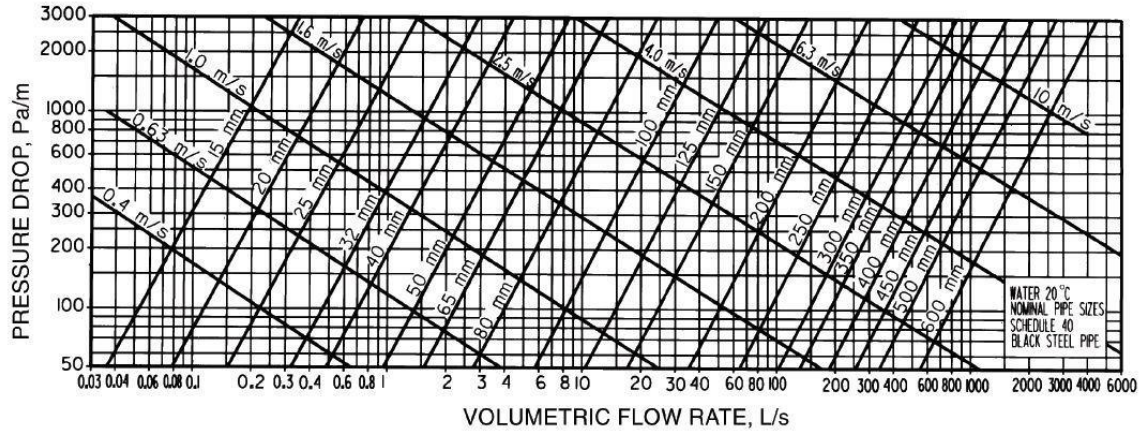
## Piping Design

## اعتبارات تصميمية للأنابيب :Piping Design Consideration

عند تصميم الأنابيب يراعى ما يلي:

- 1- يجب أن يكون طول الأنبوب أقل ما يمكن مع استخدام أقل عدد ممكن من الوصلات كالأكواع والتقر يعات لتخفيض الكلفة الإنشائية وتخفيض هبوط الضغط في شبكة الأنابيب لأقل حد وبالتالي خفض الكلفة التشغيلية.
- 2- في حال كان قطر الأنبوب 2 انش أو أقل فيجب ألا تزيد سرعة الماء داخل الأنبوب عن 1.2 m/s (4 fps)
- 3- في حال كان قطر الأنبوب 2½ انش أو أكثر فيجب ألا يزيد معدل هبوط الضغط ضمن الأنبوب عن 400 pa/m ( 4 ft/100 ft ) أي حوالي 0.04 m/m

لاختيار القطر المناسب نعلم الجدول التالي الخاص بأنابيب الحديد: Steel Sch 40



## حساب هبوط الضغط :Static Pressure Calculation

لحساب هبوط الضغط نحدد في البداية المسار الأسوأ، ثم نحسب ضياعات الضغط الطولانية وضياعات الضغط الموضعية نتيجة الوصلات Fittings وضياعات الضغط نتيجة وجود بعض العناصر مثل الفانكويلات ومبرد الماء Chiller وغيرها.

بالنسبة لضياعات الضغط الطولانية، وبما أنه لدينا معدل هبوط الضغط لكل أنبوب، فإننا نحصل على ضياع الضغط الطولاني لهذا المقطع بحاصل جداء طول الأنبوب بمعدل هبوط الضغط.

أما بالنسبة لضياعات الضغط نتيجة الوصلات فيمكن استخدام الجداول أو البرامج لتقدير هذه الضياعات كما هو الأمر بالنسبة لبرنامج Pipe Flow Wizard، أو من المعادلة:

$$\Delta P = K \cdot \rho \cdot V^2 / 2g$$

$\Delta P$  - مقدار هبوط الضغط ضمن الوصلة, Pa  
 K- ثابت هبوط الضغط للوصلة وهو مقدار لابعدي نحصل عليه من الجداول 1 إلى 4 من الفصل  
 ASHRAE 2009 Fundamentals F22 Pipe Design للمرجع  
 $\rho$  - كثافة الماء, Kg/m<sup>3</sup>  
 V- سرعة الماء, m/s  
 g - ثابت الجاذبية الأرضية, m/s<sup>2</sup>

### برنامج Pipe Flow Wizard :

لتعيين قطر الأنبوب نختار صفحة Find Pressure ونحدد نوع مادة الأنبوب من القائمة المنسدلة Pipe Material ثم نحدد قطر الأنبوب الافتراضي من الأمر diam. ثم ضمن الحقل Length نحدد الطول 1m لكي نحسب هبوط الضغط بالنسبة للمتر الطولي, (بالنسبة للوحدات البريطانية نحدد الطول 100 ft) وضمن الحقل Elevation Change نحدد مقدار التغير في المنسوب بين بداية الأنبوب ونهايته, ثم ضمن الحقل Flow نحدد قيمة تدفق الماء ونحدد نوع السائل من الأمر Change Fluid, ثم ننقر على الأمر Calculate Pressure Drop تظهر النتائج, فنتحقق من سرعة الماء أنها ضمن الحدود المقبولة إذا كان القطر المحدد 2 انش أو أقل, ونتأكد من هبوط الضغط - باعتبار أننا حددنا طول الأنبوب متر واحد (أو 100 ft) - أنه ضمن الحدود المقبولة إذا كان القطر المحدد 2½ انش أو أكثر.

أما لحساب هبوط الضغط نحدد قطر الأنبوب ومقدار التدفق وطول الأنبوب مضروب بـ 2 باعتبار وجود أنبوب صاعد وهابط, ثم ننقر على الأمر الخاص بالوصلات جانب حقل الطول ونحدد الوصلات الموجودة ضمن هذا المقطع مع الانتباه إلى مضاعفة عددها بسبب وجود خطين من الأنابيب.

وبعد الانتهاء من تحديد الوصلات ننقر على الأمر Calculate Pressure Drop فيقوم البرنامج بحساب هبوط الضغط لهذا المقطع للصاعد والهابط, ونكرر العملية لجميع المقاطع ونجمع هبوطات الضغط فتكون النتيجة هبوط الضغط الإجمالي.

تم بعون الله تعالى

م. أسامة خياطة