

# بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

■ **الحرارة :-** نوع من أنواع الطاقة يحتويها الجسم وهي خاصية من خواص المادة، وإن أي تغير فيها سيغير من خواص المادة، مثل المغناطيسية أو اللون أو حالة المادة (صلبة – سائلة – غازية).

- إن الحرارة هي مظهر لمجموع الطاقات الحركية للجزيئات ولا يمكن للجسم أن يتجرد من الحرارة إلا نظرياً في درجة الصفر المطلق التي يفترض عندها إنعدام الطاقات الحركية للجزيئات ولا يمكن الوصول عملياً إلى هذه الدائرة.

■ **درجة الحرارة:-** تعني شدة الحرارة أو المستوى الحراري وهي تمثل معدل سرعة حركة الجزيئات لمادة ما. ويمكن استعمال خاصية جسم ما للتعرف على درجة حرارته أي إن كل جسم هو محرار نفسه يصبح ممكناً في قياس درجة الحرارة لمادة الأخرى عند ملامسته لها ويسمى الجسم التي تعرف درجة حرارته اعتماداً على خاصية مختارة ( محرار ).

- تحدد درجة الحرارة في المحارير المستعملة في حياتنا اليومية اعتماداً على نقطتين ثابتتين بأحد الصفات مثل- طول عمود الزئبق في محرار الزجاجي، ويمكن أن تعرف درجة الحرارة بأنها مدى سخونة أو برودة جسم من الأجسام معبراً عنها بدلالة مقدار التمدد أو الإنكماش لغاز أو سائل أو جسم صلب،

ومفهوم السخونة أو البرودة تنشأ أصلاً من الإحساس الذي يشعر به الإنسان عند ملامسته لجسم آخر وكثيراً ما تعرف درجة الحرارة بأنها مقياس لنشاط حركة الجزيئات داخل الجسم.

■ **درجة الحرارة المطلق:-** ويسمى المقياس المطلق (مقياس كلفن) وتعطى القيمة  $273,15^{\circ}\text{K}$  لتتناسب مع إنجماد الماء ويستعمل هذا المقياس في الأغراض العلمية وهو يمثل الوحدة الدولية لقياس درجة الحرارة والتي أقرته المؤتمرات الدولية واعتمدتها الهيئة العراقية للمواصفات والتققيس.

## تحويل الدرجات من مقياس إلى آخر-

$$F^{\circ} = 1.8 C^{\circ} + 32$$

$$K^{\circ} = C^{\circ} + 273$$

$$R^{\circ} = 460 + F^{\circ}$$

■ **السعة الحرارية:-** هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة النظام درجة حرارية واحدة.

$$\text{السعة الحرارية (C)} = \frac{\text{كمية الحرارة الممتصة من قبل النظام}}{\text{الارتفاع في درجة حرارة النظام}}$$

## ● أهمية إنتقال الحرارة:

إن معرفة قوانين التي تحكم انتقال الحرارة مهم جداً لجميع فروع العلوم الهندسية سواءً عند وضع تصاميم أو تنفيذها أو عند إجراء الفحوصات أو تشغيل أجهزة التبادل الحراري..

## ● طرق إنتقال الحرارة:

توجد عدة طرق يمكن أن تنتقل الطاقة الحرارية من منطقة إلى أخرى وهي تنحصر في ثلاثة أنواع-

- ١- طريقة توصيل الحراري.
- ٢- طريقة الحمل الحراري.
- ٣- طريقة إشعاع الحراري.

✦ **إنتقال الحرارة بطريقة التوصيل:-** تسمى كمية الحرارة المنبعثة من الجسم q والتي تنساب من

لوح معين بواسطة الفرق في درجات الحرارة  $\Delta T = T_i - T_o$ .

$$q = \frac{K \cdot A \cdot \Delta T}{L}$$

ويمكن كتابة القانون بالشكل الآتي:

وهي تمثل المعادلة الأساسية للتوصيل الحراري خلال الأجسام الصلبة.

✦ **إنتقال الحرارة بطريقة الحمل:-** هو إنتقال الحرارة (الطاقة الحرارية) بواسطة الموائع

(السوائل والغازات) أثناء حركتها الإعتيادية وهو تبادل للطاقة الحرارية بين الأجزاء المتحركة للمائع وسطوح المواد الصلبة.

وتفسير عملية إنتقال الحرارة في السوائل والغازات على أساس حركة ذرات وجزيئات في السوائل والغازات وهي تكون متشابهة لحركة الموجات الصوتية أي الدبذبات العرضية.

✦ **إنتقال الحرارة بالإشعاع:-** يعرف الإشعاع بأنه إنتقال الطاقة عند غياب المادة وهنا تكمن

الصعوبة في وضع صورة واضحة في شيء غير مرئي ولكنها تنتقل بصورة متناهية خلا الفراغ كما لاحظنا في الطرق السابقة لإنتقال الحرارة، مثل التوصيل والحمل بأن هذه الطرق تحتاج إلى وسط مادي لتنتقل الحرارة خلالها أما في طريقة الإشعاع فإن الحرارة تنتقل من جسم إلى آخر دون حاجة إلى وسط مادي خلاله.

## أولاً: مولد البخار (Steam Generator)

### الغرض من الجهاز (Purpose of Device) :

هو توليد البخار بمختلف أنواعه ولمختلف العمليات.

### • أهمية البخار في عمليات التسخين:

يستعمل البخار بكثرة في عمليات التسخين نظراً لمزاياه التالية:

- ١- توفير الماء في معظم المعامل وهو أرخص مادة ممكنة.
- ٢- يمكن التحكم بضغط البخار واختزاله أو رفعه إلى الضغط المناسب.
- ٣- إعتدال سعر البخار بالنسبة لأي مصدر آخر للتسخين.
- ٤- توفير معلومات المفصلة عن بخار الماء.
- ٥- يمكن استعادة البخار عند تكثيفه واستعمال المتكثف ثانية أو تصريفه إلى مجاري دون إن يسبب تلوثاً.
- ٦- إن للحرارة الكامنة لبخار الماء عالية ويستفاد منها في التوازن الحراري لمدى واسع وبكفاءة عالية.
- ٧- إن الحرارة النوعية للماء المتكثف عالية بالنسبة لغيره من المواد وبذلك فإن المتكثف يحافظ على درجة حرارته لمدة أطول من الوسط الذي تنتقل إليه الحرارة وهذا يعطي كفاءة عالية للماكنة أو الجهاز.
- ٨- يوفر تزويداً للحرارة بدرجة حرارة ثابتة.

## • أهمية البخار في الصناعة النفطية :

- ١- يستعمل بخار الضغط العالي لتشغيل المضخات والتوربينات أو المراوح الهوائية ويستعمل تحديدا في محطة توليد الطاقة الكهربائية.
- ٢- يستعمل البخار المتوسط للتسخين غالبا ولترذيب زيت الوقود وفي أبراج التقطير (الجوي والفراغي).
- ٣- ويستعمل البخار المنخفض الضغط لتسخين الأجهزة والمعدات المختلفة والأنابيب وكذلك لإعادة فعالية بعض العوامل المساعدة ويستخدم أيضا في عمليات التنظيف للأجهزة قبل المباشرة في أعمال الصيانة وكذلك يستعمل في معالجة النضوحات الهيدروكاربونية.

## • تصنيف مولدات البخار (المراجل البخارية):

- ١- تصنيف حسب جريان ماء التغذية وغازات الاحتراق الساخنة إلى نوعين:
  - أ- مراجل أنابيب النار
  - ب- مراجل أنابيب الماء
- ٢- التصنيف حسب الاستعمال وتكون على أنواع وهي :
  - أ- المراجل المستخدمة لتوليد الطاقة بضغط (10-30 MPa).
  - ب- المراجل المستخدمة للأغراض الصناعية (4 MPa) فما دون.
  - ج- المراجل المستخدمة لأغراض التسخين.
- ٣- التصنيف حسب نوع الوقود المستعمل وتكون على أنواع:
  - أ- المراجل التي تستعمل الوقود الصلب.
  - ب- المراجل التي تستعمل الوقود السائل.
  - ج- المراجل التي تستعمل الوقود الغازية .
- ٤- التصنيف حسب حركة الماء داخل الأنابيب وتقسم إلى:
  - أ- المراجل ذات التدوير الطبيعي.
  - ب- المراجل ذات التدوير القسري.
- ٥- التصنيف حسب وضع غرفة الاحتراق ويقسم الى نوعين :
  - أ- مراجل الاشتعال الداخلي.
  - ب- مراجل الاشتعال الخارجي.

## • النظرية:

يتم رفع درجة حرارة الماء حتى تصل إلى درجة غليانه وذلك باستعمال العنصر المسخن (الهيترات) والعلاقة المستخدمة لإيجاد كمية الحرارة المنتقلة إلى الماء تستخدم العلاقة-

$$q_1 = m \ell \cdot C_{p\ell} \cdot T_1$$

ومن ثم يتم تحويل الماء عند درجة غليانه في (100 °C) من الحالة السائلة إلى بخار عند درجة (100 °C) وفي هذه الحالة تستخدم العلاقة-

$$q_2 = m \cdot \lambda$$

حيث (λ) تمثل الحرارة الكامنة لتبخير الماء ومن ثم يتم رفع درجة حرارة البخار من (100 °C) إلى الدرجة الحرارية المطلوبة للبخار ويمكن إستخراج قيمة (q) من العلاقة-

$$q_3 = m_v \cdot c_{pv} \cdot (T_1 - T_2)_v$$

وبذلك تكون كمية الحرارة الكلية المنتقلة لتحويل الماء من الحالة السائلة بدرجة الحرارة الاعتيادية إلى بخار عند درجة الحرارة المطلوبة يكون-

$$q_T = q_1 + q_2 + q_3$$

## • أنواع البخار:

درجة حرارته	ضغط البخار	نوع البخار
400°C <sup>0</sup>	44 kg/cm <sup>2</sup>	بخار ضغط عالي High Pressure Steam
280 °C <sup>0</sup>	15.5 kg/cm <sup>2</sup>	بخار ضغط متوسط Medium Pressure Steam
180 °C <sup>0</sup>	4.5 kg/cm <sup>2</sup>	بخار ضغط واطئ Low Pressure Steam

- **المرجل البخاري:** وهو عبارة عن وعاء يحتوي على مجموعة من الأنابيب وحيز معين.

## أنواع المراجل البخارية:

١. مرجل أنابيب الماء (Water Tubes Boiler)، ويقصد في هذا النوع من المرجل أنه الأنبوب الذي يجري فيه الماء و النار يكون من الخارج و يستخدم للضغوط العالية.
٢. مرجل أنابيب النار (Fire Tubes Boiler)، وهو عكس عمل مرجل أنابيب الماء.

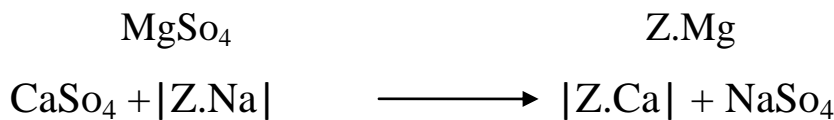
## • مياه تغذية المرجل البخاري:

الماء الخام يحتوي على عدة شوائب صلبة أو سائلة أو غازية مما يؤثر على سلامة المرجل البخاري و يتطلب إزالة هذه الشوائب من الماء المغذية إلى المرجل البخاري.  
حيث هناك عسرتان يجب إزالتها من الماء قبل دخوله إلى المرجل وهما:

١. **العسرة المؤقتة (False Strait):** وتسببها أملاح كاربونات وبيكاربونات الكالسيوم والصوديوم والمغنسيوم وتسبب هذه الطبقة تكوين طبقة من التكلسات داخل أنابيب المبادلات الحرارية والمرجل البخاري .
٢. **العسرة الدائمة (Standing strait):** وتسببها أملاح الكبريتات وكلوريدات الكالسيوم والمغنسيوم والصوديوم والتي تذوب بسرعة طبيعية في المياه طالما وجدت هذا الأملاح في التربة.

## - كيفية إزالة عسرة المياه بطريقة التبادل الأيوني :

تستخدم في المبادلات الأيونية مادة الـ(Resin)، والمبادلات الأيونية هي عبارة عن وعاء أسطواني توجد في داخله مادة (Resin) وهذه المادة قابلة لتبادل أيونات الكالسيوم والمغنسيوم ويتم إمرار الماء من خلال هذا المبادل الأيوني للتخلص من الأيونات السالبة والموجبة الموجودة في الماء أثناء عملية إزالة العسر من الماء يحدث تشبع لمادة الـ(Resin):



ويتم الكشف عن هذا التشبع بواسطة محلول الكاشف (E.B.T) وهو محلول البفر وذلك عن طريق أخذ نموذج من الماء المعالج و إضافة هذا المحلول إلى الماء ، وإذا كانت النتيجة هي

تغير لون الماء إلى اللون الأزرق معناها أنه تم تنشيط المبادل و أما إذا كانت لون الماء باللون الوردي معناها أنه يجب إعادة العملية مرة أخرى.

و بعد مرور فترة من الوقت يتم تنشيط الرز (Resin) بواسطة إضافة ملح الطعام بعد عملية الغسل العكسي :



### أجزاء المرجل البخاري (Parts of the device) :

١. خزان ماء التغذية (الغير المعامل ) الرمز D1 وسعته (146 لتر) .
٢. مضخة من نوع طاردة عن المركز (Centrifugal pump) عدد ٢ والرمز (A-B).
٣. مبادل ايوني Ionic Exchanger عدد ٢ يحتوي على زيولايت والرمز IE1-IE2.
٤. خزان الماء المعالج والرمز D2 والسعة ( 146 لتر) .
٥. مقياس درجة الحرارة والرمز T1.
٦. صمامات وخطوط انابيب مصنوعة من البلاستيك .
٧. وعاء عمودي معزول بعازل حراري (Boiler Vessel)
٨. مقاومة كهربائية عدد ٦ داخل وعاء المرجل البخاري (Boiler Vessel)
٩. مؤشر زجاجي لمراقبة مستوى الماء في المرجل (Gague glass)
١٠. مؤشر ضغط لقياس الضغط داخل المرجل البخاري (Pressure Gague)
١١. مفتاح الضغط (Pressure Switch)
١٢. صمام الأمان (Safety Valve) .
١٣. منظم الضغط البخار الخارج مع مقياس ضغط .
١٤. محرار (T2)

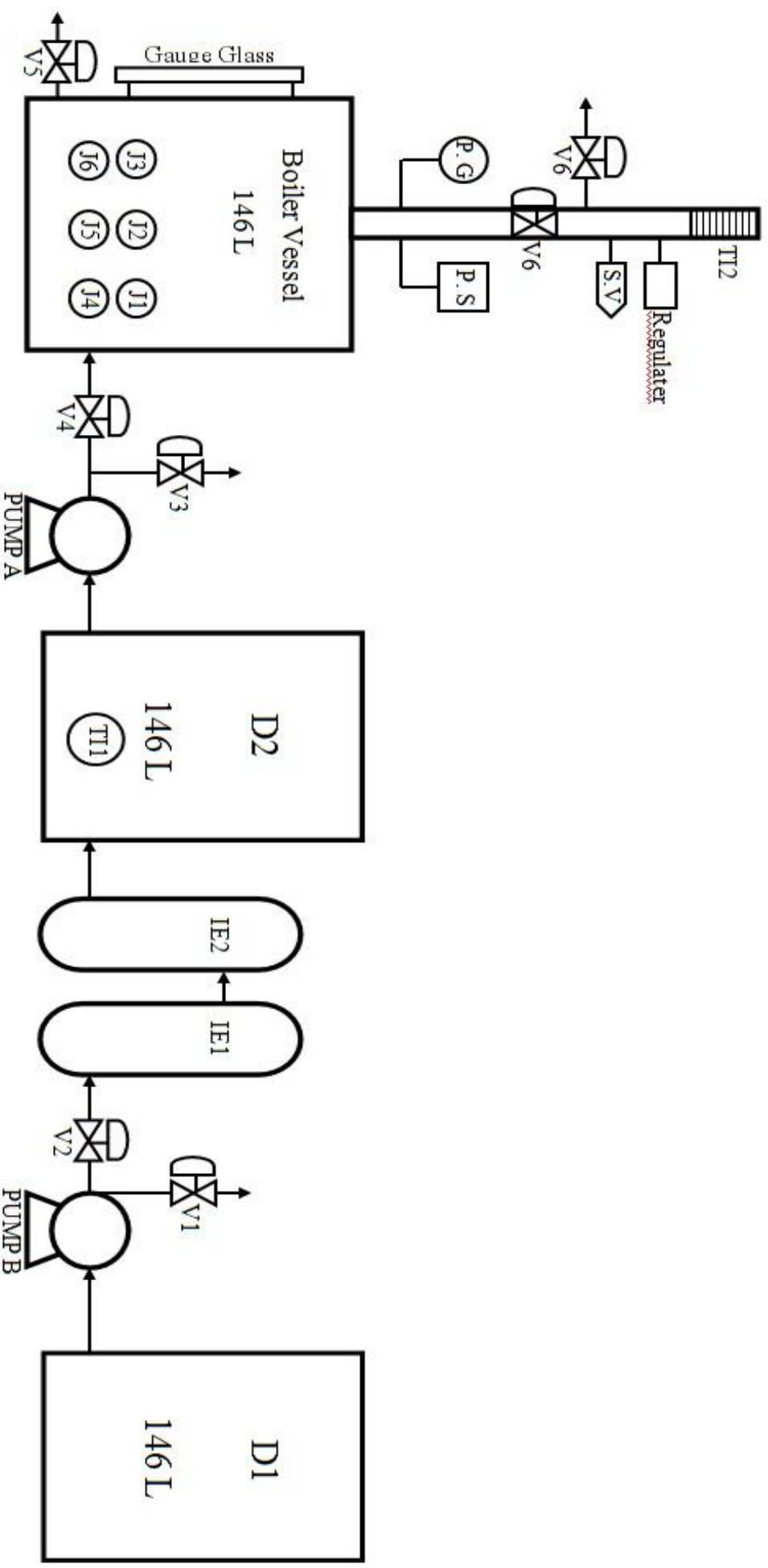
### تشغيل الجهاز (Startup) :

- ✓ اربط الجهاز الى مصدر كهربائي ثلاثي الاطوار (Three Face) .
- ✓ املاء الخزان D1 بماء الحنفية الى ٨٠% .
- ✓ أغلق الصمامات V1- V3-V5-V6 وافتح كل من V2- V4 .
- ✓ افتح التيار الكهربائي بواسطة قاطع الدورة الكهربائية .
- ✓ قم بتشغيل المضخة B
- ✓ قم بتشغيل المضخة A عندما يصل الخزان D2 الى ٨٠% .
- ✓ نقوم بتشغيل المفتاح ( ON – OFF Switch ) مع مراقبة مبيينات التيار والفولتية
- ✓ عند ارتفاع الضغط داخل المرجل بمقدار ( Bar 0.5 ) تقريباً نقوم بفتح صمام V6 لخروج البخار بشكل تدريجي ولطرد الهواء والغازات المحصورة في المرجل
- ✓ نقوم بتكرار العملية اعلاه الى ان نلاحظ خروج البخار مع مراقبة درجة الحرارة البخار من خلال المحرار

### توقيف الجهاز (Normal Shutdown) :

- نقوم بإطفاء مفتاح ( ON – OFF Switch )
- نفتح صمام البخار (V6)
- وفي حالة التوقيف الطويل المدى نقوم بتفريغ الخزانات وخطوط الانابيب .

# جهاز مولد البخار / Steam Generator



## ثانياً: مولد الماء الحار ( Hot Water Boiler )

### الغرض من الجهاز ( Purpose of Device ) :

إن الغرض من هذا الجهاز هو لتسخين الماء حسب الدرجات الحرارية المطلوبة و استخدامه للأغراض اللازمة ومنها لغرض استخدامه في برج النزع العائد إلى جهاز الامتصاص والنزع الآلي لغرض فصل المذيب الآتي من برج الامتصاص و المشبع بالمذاب الممتص من الخليط الغازي و ذلك باستخدام حرارة الماء و كذلك لغرض استخدامه في جهاز مبادل حراري لغرض تبادله مع الماء البارد و إجراء عملية التبادل الحراري مختبرياً وفي النتيجة يعتبر هذا الجهاز (أي جهاز مولد الماء الحار) وحدة خدمية أكثر مما ينبغي أن يكون وحدة صناعية.

### المقدمة:

وفي هذه العملية يتم تسخين الماء من خلال استخدام الطاقة الحرارية و بالتالي يستخدم الماء الحار في الوحدات الأخرى حيث إن فائدة الماء الحار في الصناعة النفطية بشكل عام و في المصافي بشكل خاص يكون من خلال استخدامه في المبادلات الحرارية لغرض التسخين الابتدائي أو يستخدم لأغراض النزع أو استخدامه في المختبرات النفطية .

### أجزاء جهاز مولد الماء الحار ( Parts of the device ) :

١. إطار مصنوع من الحديد المقاوم للصدأ.
٢. خزان ذو سعة (200 LITER)، و الرمز D1.
٣. مضخة من نوع الطاردة عن المركز مصنوع من الحديد المقاوم للصدأ و الرمز G1.
٤. منظم للحرارة عدد 2، والرمز (TW1,TW2)، درجة الحرارة القصوى ( $90^{\circ}C$ ).
٥. مقاومة كهربائية عدد 2، و الرمز (W1,W2)، ( $P=2 \times 6 \text{ KW}$ ).
٦. مقاييس للمستوى، والرمز LG.
٧. لوحة المفاتيح.

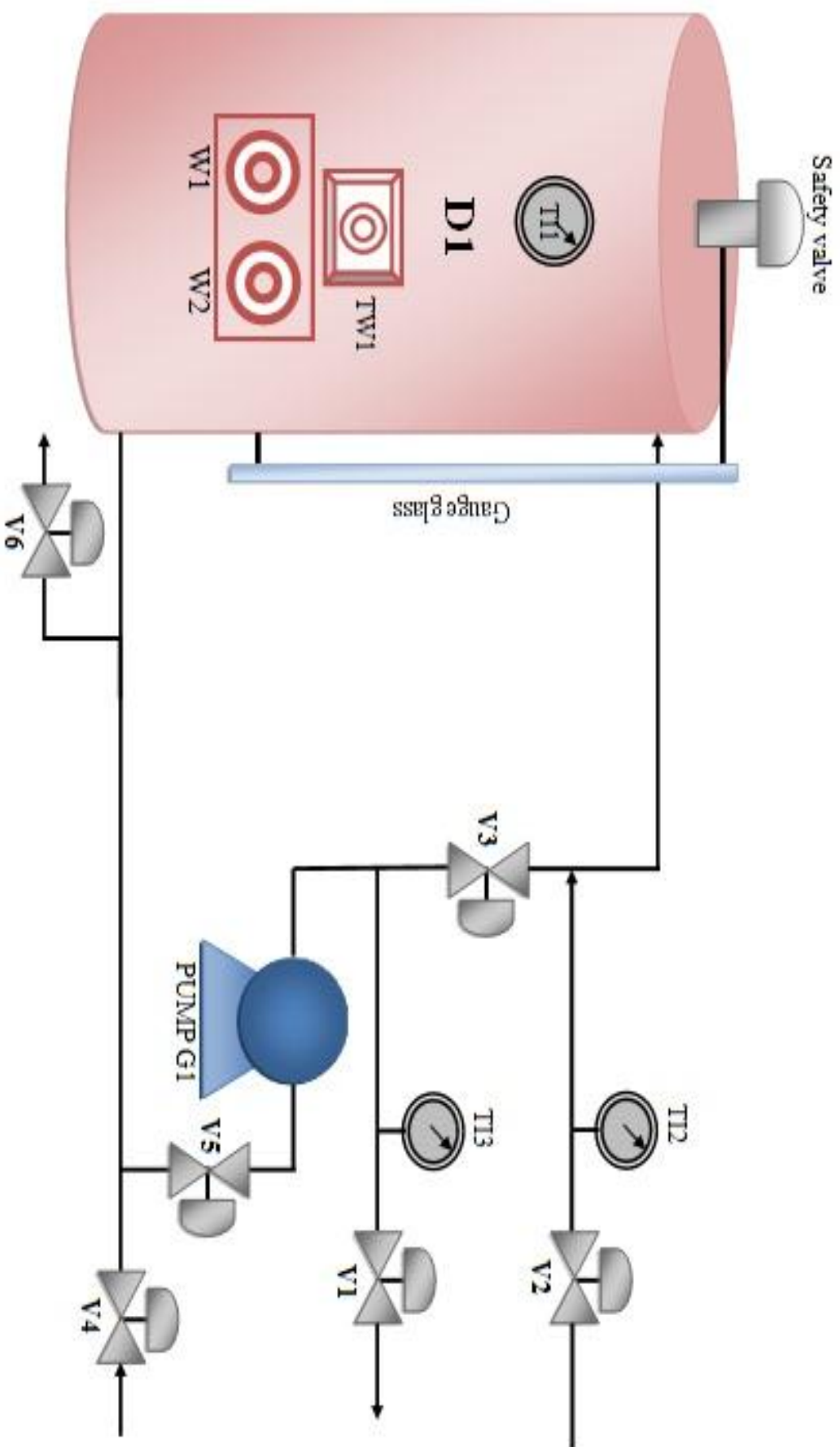
### تشغيل الجهاز (Startup) :

- ✓ أغلق الصمامات (V1,V2,V3,V5,V6).
- ✓ أملئ الخزان (D1) إلى مستوى 90% من مقياس المستوى بماء الحنفية (ومن الأفضل أن يكون الماء خالي من العسرة).
- ✓ أربط الوحدة بالقوة الكهربائية (3 Phase).
- ✓ قم بتشغيل المضخة G1.
- ✓ قم بتشغيل المقاومتين الحراريتين (W1,W2) .
- ✓ قم بتنظيم منظم الحرارة (TW1) إلى الحرارة المطلوبة ( $90^{\circ}\text{C}$ ).
- ✓ قم بتوصيل دخول الجهاز المراد تسخينه إلى الصمام (V1).
- ✓ قم بتوصيل خروج الجهاز المراد تسخينه إلى الصمام (V2).
- ✓ في حالة وصول درجة حرارة الماء الحار إلى نقطة التثبيت (Set point):
- ✓ أفتح الصمام (V1,V2).
- ✓ أغلق الصمام (V3).

### توقيف الجهاز (Normal Shutdown) :

- ✓ أفتح الصمام (V3).
- ✓ أغلق الصمام (V1,V2).
- ✓ قم بتوقيف المضخة G1 عن العمل.
- ✓ للإيقاف الاضطراري أضغط على زر الإيقاف الاضطراري (Push bottom).
- ✓ للإيقاف الطويل (3-4 أشهر)، من الأفضل تصريف المسخنة بالكامل.

## جهاز مولد الماء الحار/ Hot Water Boiler



## ثالثاً: المبادل الحراري

### HEAT EXCHANGER

#### الغرض من الجهاز (Purpose of Device) :

إن الغرض من هذا الجهاز هو إجراء عملية التبادل الحراري بين المائع الحار والبارد وبالتالي إما يكون الغرض هو التبريد أو التسخين أو قد يكون كلا الغرضين ويمكن التعرف من خلال هذا الجهاز على أنواع التبادل الحراري من حيث الجريان الذي يكون النوعين الموازي و المعاكس (co-current flow & counter current flow) في المبادل الحراري من نوع (Shell & Tube) وكذلك في المبادل من نوع الملف حيث يتم معرفة كفاءة المبادلات وعملها من خلال إجراء مجموعة من الحسابات على متغيرات العملية، و كذلك يمكن التعرف على الظروف التشغيلية للوحدة من خلال تشغيل وتوقيف الجهاز حيث يكون للمبادل الحراري أهمية كبيرة في الصناعة النفطية، إن الغرض الرئيسي من استخدام المبادل الحراري هو الاقتصاد في النفقات ويتم ذلك من خلال تسخين مادة أو تبريدها بالاعتماد على مادة أخرى كما هو الحال في المصافي حيث يتم تسخين نפט الخام قبل دخوله إلى الأفران بواسطة المبادلات الحرارية وذلك باستخدام منتج وسطي من برج التقطير يكون ذات درجة حرارة عالية في نفس الوقت الذي يتم فيه تبريد هذا المنتج الوسيط يتم تسخين النفط الخام بالتبادل الحراري من هنا يتجلى دور المبادلة الحرارية.

#### ومن المزايا الاقتصادية للمبادل الحراري هو:

١. تقليل الحمل على الفرن الذي يتم فيه تسخين النفط الخام.
٢. اقتصاد كبير في الوقود.
٣. تقليل استهلاك الكهرباء المستخدم لتبريد النفط الخام المختزل في المبردات الهوائية.
٤. تقليل استخدام ماء التبريد.

#### المقدمة:

هو الجهاز المستخدم لعملية تبادل حرارة بين مائعين درجة حرارتهما مختلفتان ويشمل جميع الأجهزة التي يتم فيها انتقال الحرارة كمسخنات و مبردات والمكثفات ومولدات البخار وغيرهما.

## • فكرة التبادل الحراري خلال المبادل الحراري:

تنتقل الحرارة عادة من المواد الحارة إلى الباردة ويؤدي ذلك إلى انخفاض درجة حرارة المواد الحارة وارتفاع درجة حرارة المواد الباردة ويكون مقدار الحرارة المكتسبة مساويا لمقدار الحرارة المفقودة ويتم انتقال الحرارة بالمبادلة على ثلاثة مراحل و كما يأتي:

١. انتقال الحرارة بالحمل من السائل الأول الموجود داخل الأنابيب إلى جدران الأنابيب الداخلية.
٢. انتقال الحرارة من الجدار الداخلي للأنبوب إلى الجدار الداخلي للأنبوب بالتوصيل الحراري من خلال جزيئات مادة الأنبوب الصلبة.
٣. انتقال الحرارة من السطح الخارجي للأنبوب إلى السائل الذي يحيط بالأنابيب من الخارج (سائل القشرة) وذلك بالحمل الحراري.

## • وتتكون المبادل الحراري من الأجزاء التالية:

◆ **القشرة (Shell):** وهي التي تكون الغلاف الخارجي للمبادل وملحوم عليها اثنان من الروابط، واحدة للدخول والثانية لخروج السائل الذي يستخدم لتسخين أو تبريد السائل الموجود في الأنابيب.

◆ **صفحة الأنابيب (Tubes Sheet):** وهي عبارة عن صفيحتين مثقبتين تستقر في ثقوبها الأنابيب وتوجد داخل المبادلة.

◆ **حزمة الأنابيب (Tubes Bundle):** وهي عدد من الأنابيب تحملها صفحة الأنابيب و تكون بأقطار صغيرة يجري فيها السائل الثاني المراد تبريده أو تسخينه وتحيط بها القشرة من الخارج.

◆ **القواطع المعدنية (Baffles):** وهي عبارة عن شكل دائري غير مكتمل وفائدتها حمل حزمة الأنابيب ومنعها من الانحناء وتوجيه السائل داخل القشرة للجريان فوق الأنابيب وكذلك زيادة كفاءة التبادل الحراري من خلال زيادة المساحة السطحية للتبادل الحراري.

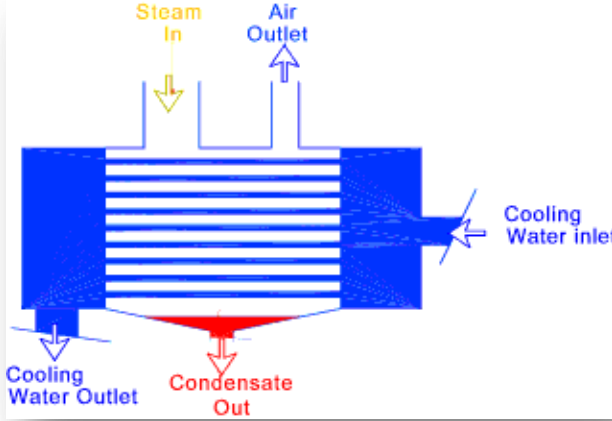
◆ **رأس المبادل (Head):** وهو تركيب نصف كروي تقريبا يتم به غلق القشرة من طرفيها ويتم فيه تجمع السوائل التي تجري في الأنابيب.



## • أنواع المبادلات الحرارية بالنسبة لطبيعة عملها وأهدافها:

تستخدم عادةً المبادلات الحرارية إما لتسخين سائل أو غاز أو تبريدهما أو لتكثيف بخار أو تبخير سائل وعادة تصنف المبادلات الحرارية طبقاً لطبيعة عملها إلى:

١. **المسخنات (Heaters):** وهي المبادلات التي تستعمل سائل ساخن لتسخين سائل آخر بارد.
٢. **المبردات (Coolers):** وهي المبادلات التي تستعمل سائل بارد لتبريد سائل آخر ساخن و يستعمل عادتاً الماء في التبريد و يسمى ماء التبريد و قد يستخدم الهواء بالتبريد عندئذ تسمى المبادلة بالمبرد الهوائي.
٣. **المكثفات (Condensers):** وهي المبادلات التي تستعمل ماء عادتاً لتكثيف البخار أو مزيج من الأبخرة أو تكثيف بخار الماء الموجود في خليط من الهواء وبخار الماء.



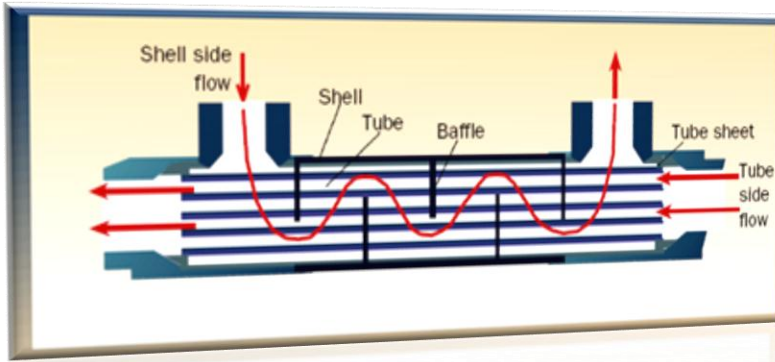
٤. **المبخرات (Evaporators):** تستخدم المبخرات عادتاً لتبخير سائل مذيّب من محلول معين و قد تستخدم لزيادة تركيز بعض المحاليل بواسطة تبخير الماء من هذه المحاليل .
٥. **الغلايات (Reboilers):** هي تلك المبادلات الحرارية التي تستعمل عادت لإعطاء الحرارة اللازمة للتبخير و تستعمل عادتاً لتسخين قعور أبراج التقطير لفصل بعض المشتقات عن بعضهما أو تستخدم لأبراج التجزئة لفصل بعض الغازات عن السوائل و يستعمل بخار الماء بشكل واسع عادتاً في عملية التسخين و كذلك تستعمل للصناعات النفطية بعض المشتقات الساخنة لهذا الغرض .



صورة توضح غلاية في حالة صيانة

## • أنواع المبادلات الحرارية بالنسبة لتصميمها:

١. المبادلات ذات الرأس الثابت (Fixed head exchanger).
٢. المبادلات ذات الرأس السائب (Floating head exchangers).
٣. المبادلات على شكل حرف (U) ("U" type exchanger).
٤. المبادل الحراري ذات الأنبوب المزدوج (Double pipe heat exchanger):



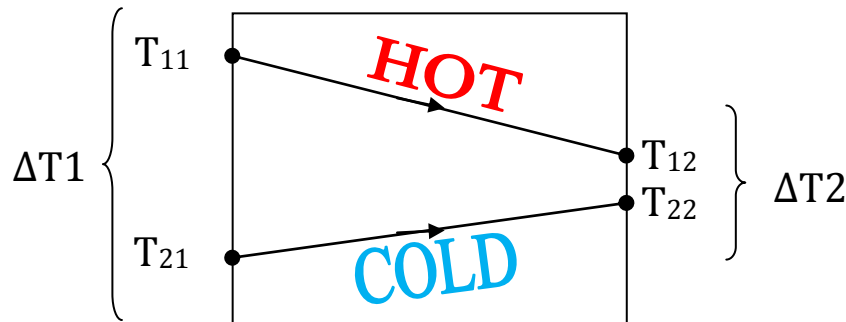
٥. صناديق التبريد (Cooling boxes).

٦. Bayort Tube Heat Exchanger.

حالات الجريان في المبادلات الحرارية : هنالك حالتان لاتجاه جريان الموائع في المبادل الحراري هما :

### ١. الجريان الموازي (Co-Counter flow) :

يكون اتجاه جريان الموائع في هذه الحالة متشابهة أي أن المائعين يسيران بنفس الاتجاه و في هذا النوع من الجريان يلاحظ أن الفرق كبير بين درجات الحرارة و يقل الفرق على امتداد طول المسار .



ولإيجاد معدل فرق درجة الحرارة اللوغاريتمية في هذه الحالة ( $\Delta T_m$ ) نستخدم العلاقة :

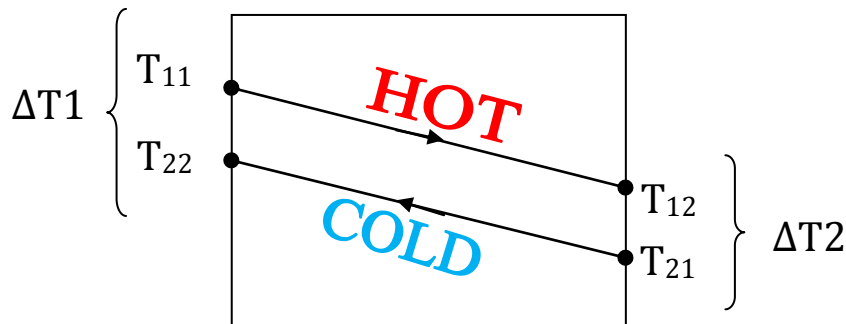
$$\Delta T_1 = T_{11} - T_{21}$$

$$\Delta T_2 = T_{12} - T_{22}$$

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

## ٢. الجريان المعاكس (Current-Counter Flow) :

و يكون اتجاه الجريان للمائع في هذه الحالة متعاكسا أي أن المادتين تسيران باتجاهين متعاكسين و يلاحظ في الجريان المتعاكس بثبوت فرق درجات الحرارة تقريبا على طول المبادل الحراري و في أكثر التطبيقات العملية أثبتت جريان المتعاكس كفاءته أكثر من الجريان الموازي و لإيجاد ( $\Delta T_m$ ) نستخدم العلاقة التالية :



$$\Delta T_1 = T_{11} - T_{22}$$

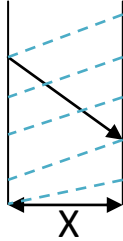
$$\Delta T_2 = T_{12} - T_{21}$$

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

## • حساب كمية الحرارة المنتقلة خلال المبادل الحراري:

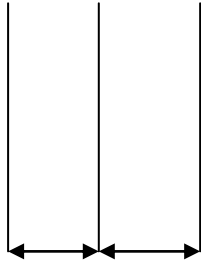
يكون حساب كمية الحرارة المنتقلة خلال المبادل الحراري على عدة حالات :

١. عندما يجري مائعين مختلفين على سطح مستوي أعلى وأسفل السطح.



$$q = \frac{T_1 - T_2}{\frac{1}{h_1 \cdot A} + \frac{X}{K \cdot A} + \frac{1}{h_2 \cdot A}}$$

٢. الحالة الثانية عندما يجري مائع على سطحين مربوطان على التوالي ويجري تحتها مائع آخر.



$$q = \frac{T_1 - T_2}{\frac{1}{h_1 \cdot A} + \frac{X_1}{K_1 \cdot A} + \frac{X_2}{K_2 \cdot A} + \frac{1}{h_2 \cdot A}}$$

$$q = \frac{\Delta T}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$

$$q = \frac{\Delta T}{R_t}$$

٣. انتقال الحرارة خلال انبوب ذات سمك يجري فيه مائع ويجري فوقه مائع آخر ويكون على حالتين:

أ- عندما يجري المائع الساخن داخل الأنابيب والمائع البارد في قشرة. (وهي الحالة المستخدمة

$$Q = U_i \cdot A_i \cdot \Delta T_m \quad \text{(في التجربة)}$$

حيث أن ( $A_i$ ) المساحة السطحية الأنابيب الكلية وهي ثابتة في التجربة وهي تساوي في تجربتنا ( $0.11 \text{ m}^2$ ) في المبادل ذات حزمة الأنابيب و ( $0.6 \text{ m}^2$ ) في المبادل ذات (الكويل).

( $\Delta T_m$ ) معدل الفرق اللوغاريتمي لدرجات الحرارة.

( $A_i$ ) عامل الحمل الحراري الكلي للمائع الذي يجري داخل الأنابيب.

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{r_i \cdot \ln(ro/r_i)}{K} + \frac{r_i}{h_o \cdot re}}$$

ب- عندما يمر المائع البارد في الأنابيب والمائع الحار في القشرة.

$$Q = U_e \cdot A_e \cdot \Delta T_m$$

حيث أن (Ae) تعتمد في إيجادها على القطر الخارجي للأنابيب والذي يساوي في تجربتنا (10 mm).

$$U_e = \frac{1}{\frac{re}{h_i \cdot r_i} + \frac{ro \cdot \ln(ro/r_i)}{K} + \frac{1}{h_e}}$$

### - معامل الانتساف (Fouling Factor):

إن المائع الذي يجري في المبادل الحراري يحتوي على شوائب وأملاح وبمرور الوقت تتكون طبقة من التكلسات أو الترسبات على سطح الأنابيب تقلل من كفاءة التبادل الحراري ومثالها تكوين قشرة من الأملاح وهذه تؤدي إلى تقلص مساحة التبادل وكذلك زيادة المقاومة لجران الحرارة، لذلك تضاف مقاومة أخرى للتبادل الحراري ويرمز لها بالرمز (Rs) إلى المقاومة الكلية للانتقال الحراري (U) فتصبح المعادلة:

$$U_e = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{r_i \cdot \ln(re/r_i)}{K} + \frac{r_i}{h_e \cdot re} + R_s}$$

وال (Rs) تعتمد على نوع المادة وتوجد قيمها في جداول خاصة.

## • التجارب والحسابات:

يتم تحديد نوع المبادل وليكن من نوع (القشرة وحزمة الأنابيب) والذي ضمن المواصفات التالية:

- ١- القطر الداخلي للقشرة (50 mm).
- ٢- القطر الخارجي للأنابيب (10 mm).
- ٣- سمك الأنابيب (1 mm).
- ٤- طول الأنابيب (900 mm).
- ٥- عدد الأنابيب 5.
- ٦- عدد القواطع 13 وفيه قطع بنسبة (25%) من قطر القاطع.
- ٧- المساحة السطحية للإنتقال الكلية (  $A = 0.11m^2$  ).

حيث يتم توصيل المبادل الحراري بمجهاز الماء الساخن وتحديد درجة الحرارة كمثال تكون ( $60^{\circ}C$ ) ومن ثم يتم تثبيت معدل جريان الماء الحار والماء البارد وليكن (200 L/h) ونوع الجريان نحدده وليكن جريان موازي وننتظر لمدة (2 – 3min) حتى تثبت درجات الحرارة ومن ثم يتم إجراء الحسابات وكما يلي:

$FI_1/FI_2$ L/h	$TI_1$ $^{\circ}C$	$TI_2$ $^{\circ}C$	$TI_3$ $^{\circ}C$	$TI_4$ $^{\circ}C$	$\Delta T_h$ $^{\circ}C$	$\Delta T_c$ $^{\circ}C$
200	21	59.2	31.6	48.7	10.5	10.6
$Q_h = m \cdot c_p \cdot \Delta T_h$		$Q_c = m \cdot c_p \cdot \Delta T_c$		$\Delta Q = Q_h - Q_c$		$\Delta T_1 = TI_1 - TI_2$
2100 Kcal/h		2120 Kcal/h		-20 Kcal/h		38.2 $^{\circ}C$
$\Delta T_2 = TI_4 - TI_3$		$\Delta T_m$	$U = Q / A \cdot \Delta T_m$			
17.1 $^{\circ}C$		26.3	732			

حيث يمثل (U) عامل الحمل الحراري الكلي في الحالة العملية ( $U_{act}$ ).

وللمقارنة بين عامل الحمل الحراري الكلي في الحالة العملية ( $U_{act}$ ) وعامل الحمل الحراري في الحالة النظرية ( $U_{theory}$ ) نتبع الخطوات الآتية:

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{r_i \cdot \ln(ro/r_i)}{K} + \frac{r_i}{h_o \cdot re}} \quad (1) \text{ نستخدم العلاقة -}$$

حيث أن ( $r_i$ ) نصف قطر الداخلي للأنبوب.  
 ( $ro$ ) نصف قطر الخارجي للأنبوب.  
 ( $K$ ) عامل الحمل الحراري لمادة معدن الأنبوب.  
 ( $h_i$ ) عامل الحمل الحراري للمائع الذي يجري داخل الأنبوب.  
 ( $h_o$ ) عامل الحمل الحراري للمائع الذي يجري خارج الأنبوب في (القشرة).

(٢) ولحساب عامل الحمل الحراري للمائعين ( $h_o, h_i$ ) يعتمد على المعادلات التالية:

$$Nu = \frac{h \cdot d}{K}, \quad Pr = \frac{C \cdot \mu}{K}, \quad Re = \frac{\rho \cdot u \cdot d}{\mu}$$

وهناك عدة حالات لإيجاد قيمة ( $h$ ) وكما يلي:

أ- عندما يكون الجريان طبقي (هادئ) ( $Re < 2700$ ) نستخدم المعادلة التالية:

$$Nu = 1.62 \left( Re \cdot Pr \cdot \frac{d}{L} \right)^{0.33} \quad \left( Re \cdot Pr \cdot \frac{d}{L} \right) > 12$$

$$Nu = 4.1 \left( Re \cdot Pr \cdot \frac{d}{L} \right)^{0.33} \quad \left( Re \cdot Pr \cdot \frac{d}{L} \right) < 12$$

ب- عندما يكون الجريان مضطرب ( $Re > 2700$ ) نستخدم المعادلة التالية:

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} \cdot Pr^{0.33}$$

مع تغيير قطر ( $d$ ) الى القطر المكافئ ( $d_{eq}$ )، حيث أن  $d_{eq} = d_2^2 - d_1^2 / d_1$

$$Re = \frac{\rho \cdot u \cdot d_{eq}}{\mu}, \quad Nu = \frac{h \cdot d_{eq}}{K}$$

حيث أن ( $\rho$ ) كثافة المائع.

( $u$ ) سرعة جريان المائع.

( $\mu$ ) لزوجة المائع.

( $K$ ) عامل التوصيل الحراري لمعدن الأنبوب.

( $C$ ) السعة الحرارية النوعية للمائع.

٣) بعد إيجاد قيمة  $(h_i)$ ،  $(h_o)$  يتم تعويضها في معادلة  $(U_i)$  لإستخراج قيمتها ومقارنتها مع  $(U_{act})$ .

٤) بالإمكان إعادة التجربة بتغيير نوع الجريان من الموازي الى الجريان المعاكس مع إختلاف في قيمة  $(\Delta T_m)$  فقط ومقارنة كمية الحرارة المنتقلة في كلا النوعين.

### بعض الفرضيات في تشغيل المبادل الحراري:

- ١- معدل جريان المائعين متساوي تقريباً.
- ٢- الحرارة النوعية للمائعين متساوي تقريباً.
- ٣- التبادل الحراري بين المائعين (أدياتيكي) باتجاه الخارج.
- ٤- معامل إنتقال الحرارة الكلي  $(U)$  هو باتجاه الخارج.
- ٥- معامل إنتقال الحرارة الكلي  $(U)$  هو ثابت عبر مساحة الإنتقال الحراري.

### الأهداف الرئيسية من إجراء التجربة:

- ١- معرفة معدل التدفق للمائعين.
- ٢- كمية الحرارة المنتقلة من المائع الساخن إلى المائع البارد.
- ٣- حساب درجة الحرارة الداخلة والخارجة للمائعين ومعدل الفرق اللوغاريتمي.
- ٤- معامل إنتقال الحرارة الكلي  $(U)$  وتأثيره بالعوامل (معامل الحمل، معامل التوصيل، معامل التصحيح).

### محاسن الأنابيب متحدة المركز:

- ١- أكثر المبادلات إستعمالاً في الصناعة.
- ٢- سهولة الإستعمال.
- ٣- ذات كفاءة جيدة.

### مساوي هذا النوع من المبادلات:

١. مساحة التبادل صغيرة.
٢. لمساحات التبادل الكبيرة تصبح هذه المعدات ضخمة وثقيلة وغير إقتصادية.
٣. معرضة إلى انسدادات الأنابيب مما يسبب التآكل.

## بعض الثوابت المهمة:

$$\rho_{H_2O} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$Cp_{H_2O} = 1 \text{ kcal / kg.}^\circ\text{C}$$

$$\mu_{H_2O} = 0.001 \text{ kg / m.sec}$$

$$K_{\text{st. steel}} = 12 - 23 \text{ kcal / m.hr. }^\circ\text{C}$$

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ lit}$$

$$d_i \text{ (للأنابيب)} = 8 \text{ mm}$$

$$d_o \text{ (للأنابيب)} = 10 \text{ mm}$$

$$d \text{ (للقشرة)} = 50 \text{ mm}$$

$$d_o \text{ (للأنبوب الكويل)} = 12 \text{ mm}$$

$$d_i \text{ (للأنبوب الكويل)} = 10 \text{ mm}$$

$$d \text{ (للقشرة الكويل)} = 100 \text{ mm}$$

$$L \text{ (طول الأنبوب)} = 900 \text{ mm}$$

$$L \text{ (طول الكويل)} = 18 \text{ mm}$$

## أجزاء جهاز المبادل الحراري (Parts of Device):

- إطار مصنوع من الحديد المقاوم للصدأ .
- مبادل حراري من نوع الغلاف و الأنبوب حيث إن الغلاف مصنوع من الزجاج و الأنابيب مصنوعة من الحديد المقاوم للصدأ مساحة التبادل الحراري ( $0.11 \text{ m}^2$ ) و الرمز (E1) .
- مبادل حراري من نوع الملف حيث أن الغلاف مصنوع من الزجاج و الأنابيب من الحديد المقاوم للصدأ و مساحة تبادل الحراري ( $0.6 \text{ m}^2$ ) و الرمز (E2) .
- قياس معدل الجريان من نوع الحث المغناطيسي للماء البارد ، و المدى (0-1000L/hr) ، إشارة الخرج (4-20mA) و الرمز (FI1) .
- قياس معدل الجريان من نوع الحث المغناطيسي للماء الحار ، و المدى (0-1000L/hr) ، إشارة الخرج (4-20mA) و الرمز (FI2) .
- صمام سيطرة هوائي لمعدل جريان الماء البارد ، الرمز (FV1) .
- صمام سيطرة هوائي لمعدل جريان الماء الحار ، الرمز (FV2) .
- صمام أمان للضغط للخط البارد و الرمز (SV1) .
- أربعة مقاييس لدرجات الحرارة من نوع (RTD, pt100) و الرمز (TI1 , TI2 , TI3 , ) (TI4) .
- لوحة المفاتيح الكهربائية مع مخطط الجهاز .
- التنفيس.

## تشغيل الجهاز (Startup) :

- أربط الجهاز إلى مصدر كهربائي .
- أربط الجهاز إلى ماء الحنفية .
- أربط الجهاز إلى جهاز مولد الماء الحار (SCT01/EV) أو إلى خط الماء الحار مستعملاً الأنبوب المطاطي الأسود .
- أربط الجهاز إلى منظم الضغط والموجود تحت لوحة المفاتيح إلى خط كابسة الهواء (ينظم الضغط إلى 1.4bar) .
- أفتح التيار الكهربائي .
- لاستعمال المبادل الحراري (E1) :
- أفتح الصمام (V8) .
- أغلق الصمامات (V5,V6,V7,V9,V10,V11,V12,V13) .
- أفتح الصمامات (V2,V4) و أغلق الصمامات (V1,V3) (في حالة الجريان المعاكس) .
- أفتح الصمامات (V1,V3) و أغلق الصمامات (V2,V4) (في حالة الجريان الموازي) .
- لغرض استعمال المبادل الحراري (E2) :
- أغلق الصمامات (V1,V2,V3,V4,V5,V6,V7,V8,V10,V11,V13) .
- أفتح الصمامات (V9,V12) .
- السيطرة على معدل جريان الماء الحار و البارد باستعمال المسيطر (PID) .
- السيطرة اليدوية على معدل الجريان :
- قم بتحويل الحلقة (1<sup>o</sup> n) (رقم واحد للماء البارد) و الحلقة (2<sup>o</sup> n) للماء الحار ، إلى الوضع اليدوي باستعمال الزر M/A/C والإشارة الحمراء تكون مضاءة .
- اختر قيمة الخرج باستعمال الزر Lnd .
- قم بتنظيم الخرج (يتناسب إلى فتحة الصمام) (FV1,FV2) و كمثال 50% بواسطة الأزرار ▼ ▲ .
- قم بتنظيم معدل الجريان و ذلك بتغيير قيمة الخرج بواسطة الزر ▼ ▲ .

## ● وصف مختصر للمسيطر من نوع المعالج الدقيق :

١. الحلقة الأولى: السيطرة على معدل جريان الماء البارد (FIC1) والمدى (0-1000L/hr)، إشارة الخرج (0-100%) يتناسب إلى قيمة الصمام (FV1).
٢. الحلقة الثانية: السيطرة على معدل جريان الماء الحار (FIC2) و المدى (0-1000L/hr)، إشارة الخرج (0-100%) يتناسب إلى قيمة الصمام (FV2).
٣. الحلقة الثالثة: إظهار درجات الحرارة (TI , TI2 , TI3 , TI4) و لا يتغير المسيطر.

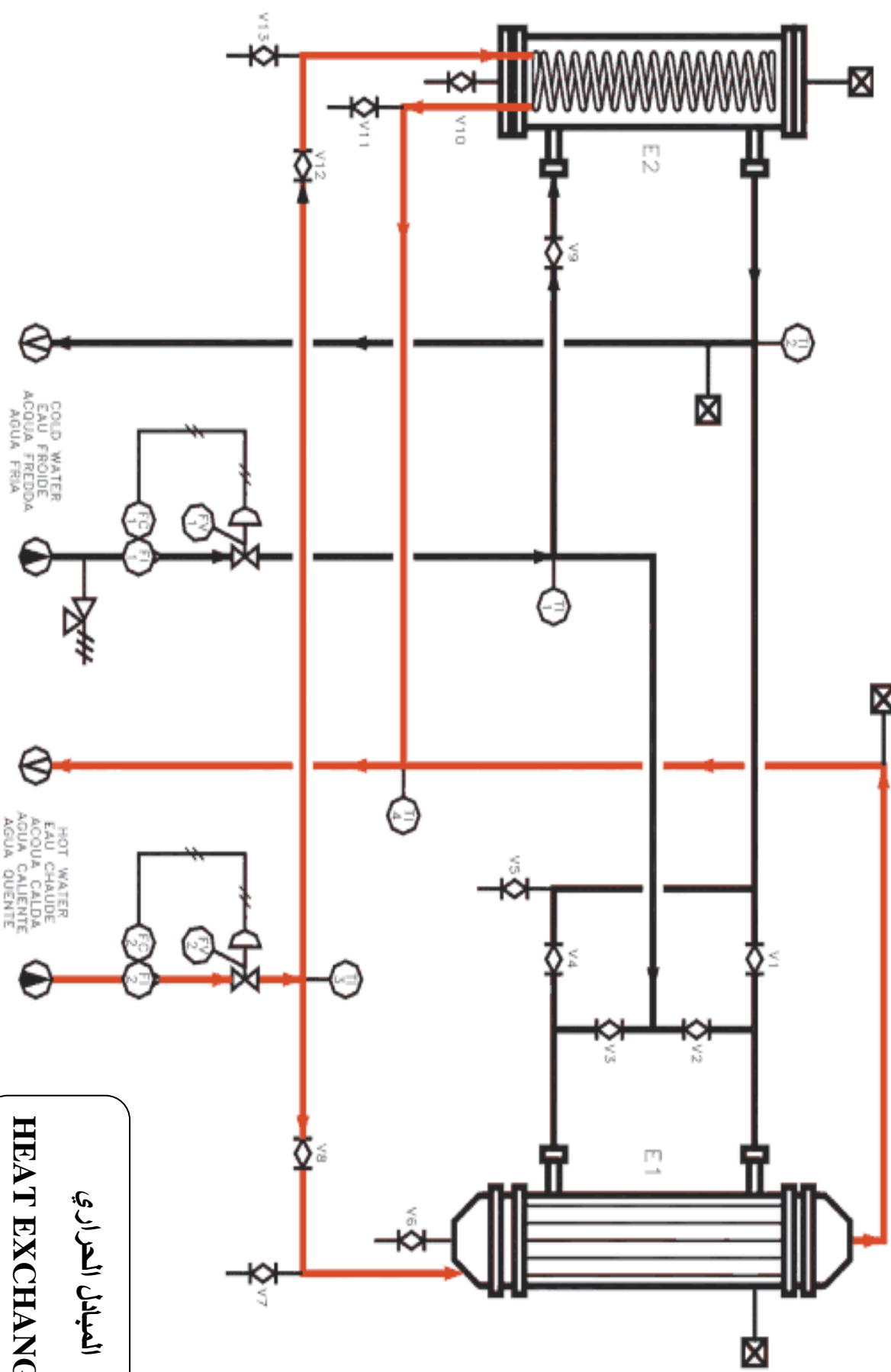
## السيطرة على معدل الجريان في الوضع الأوتوماتيكي :

- قم بتنظيم معدل الجريان للماء الحار و البارد في الوضع اليدوي (أتبع خطوات السيطرة على معدل الجريان في الوضع اليدوي).
- قم باختيار القيمة المرغوبة باستعمال الزر SP-W .
- قم باختيار قيمة للقيمة المرغوبة باستعمال الأزرار ▲ ▼ (كمثال 60L/hr).
- قم بتحويل الحلقة الأولى إلى الوضع الأوتوماتيكي بواسطة الزر M/A/C الإشارة الخضراء تكون مضاءة.
- أنظر حتى يتم استقرار درجات الحرارة (TI1 , TI2 , TI3 , TI4).
- قم بتغيير معدلات الجريان لكلا المائعين إلى القيمة المرغوبة و قم بتسجيل ملاحظات عن قيم البيانات.

## توقيف الجهاز (Normal Shutdown):

- أغلق الصمام الرئيسي لماء البارد و الحار .
- أقطع التيار الكهربائي (Board) .
- أقطع التيار الكهربائي من المصدر .
- لفترات التوقيف الطويلة (أكثر من أربعة أو خمسة أيام) قم باتباع الإجراءات التالية :
- قم بربط الصمامات (V5,V7,V11,V13) بواسطة أنبوب مطاطي إلى التصريف و بعد ذلك يفتح الصمامات المذكورة أعلاه .
- قم بتصريف الماء من المبادلات الحرارية و ذلك بفتح الصمامات (V6,V10).

# HEAT EXCHANGER UNIT mod. UTCA-2/EV



المبادل الحراري

HEAT EXCHANGER

## برج التبريد (COOLING TOWER)

### الغرض من الجهاز (Purpose of Device) :

إن الغرض من هذا الجهاز هو لبيان آلية تبريد الماء في برج التبريد و كيفية السيطرة على ظروف هذه العملية و كذلك إجراء بعض الحسابات على متغيرات العملية لمعرفة كفاءة العملية و غيره من القيم ، أما الغرض الرئيسي من هذه الوحدة في المنشآت النفطية هو لغرض تبريد الماء الساخن الآتي من الوحدات الأخرى نتيجة لاكتسابه الحرارة ، مثلا الماء الآتي من المبردات المائية التي تستخدم لتبريد بعض المشتقات النفطية الخارجة من الأبراج أو تبريد المياه المستخدمة لتبريد المضخات أو غيره من الأغراض.

### المقدمة:

إن أكثر العمليات الصناعية تستخدم الماء كوسط للتبريد في المبادلات الحرارية لخفض درجة الحرارة في هذه العمليات و لتقليل الكلفة يتم استرجاع الماء المستخدم في التبريد بعد خفض درجة حرارته و الوحدة الأكثر شيوعا و التي تستعمل لإنجاز هذا الهدف هو برج التبريد.

### برج التبريد:

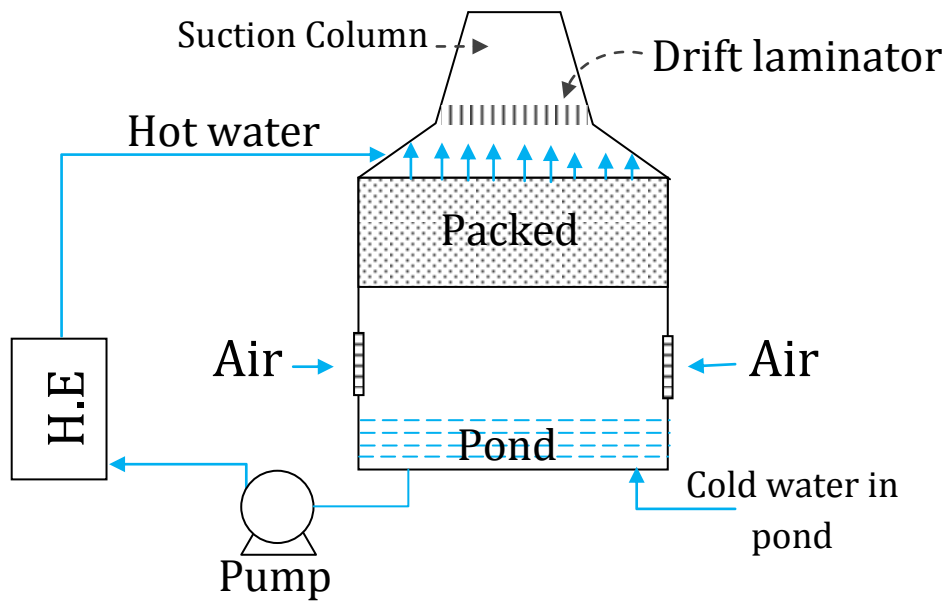
إن الفكرة الرئيسية من برج التبريد ببساطة أنه المياه الدافئة تتقطر إلى الأسفل من خلال الحشوات الموجودة في البرج و تكون بتماس مع التيار الهوائي الصاعد إلى الأعلى و إن جزء بسيط من هذه القطرات يتبخر و يحتاج حرارة كامنة للتبخير بحدود (1000 BTU) لكل باوند واحد من الماء ، و إن هذه الحرارة تسحب من خلال الماء المتبقي فتؤدي إلى تبريده.

إن هذه العملية تعرف كعملية باعثة للرطوبة من خلال انتقال الحرارة و انتقال المادة ، و إن الحشوات تستخدم لتوفير أكبر مساحة سطحية ممكنة لانتقال الحرارة و انتقال المادة بين الماء و الهواء.

إن أبراج التبريد تكون على نوعين و هما برج التبريد ذات التيار الطبيعي و برج التبريد ذات التيار الميكانيكي.

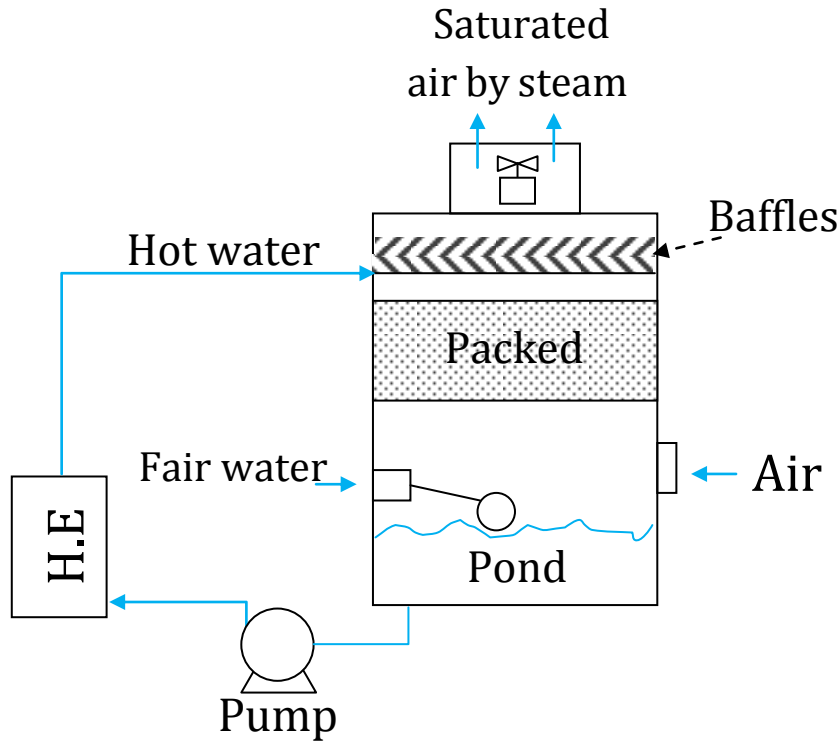
### برج التبريد ذات التيار الطبيعي (Natural draft tower):

و إن برج التبريد يعتمد على تيارات الحمل الطبيعي من خلال الاختلاف في الكثافة بين الهواء البارد و الهواء الساخن و يصمم البرج بشكل يسمح بمرور كميات كافية من الهواء من الأسفل إلى الأعلى لإجراء عملية التبادل الحراري بينه و بين الماء النازل من أعلى البرج و يكون حجم هذه الأبراج كبير نسبيا و ذلك لإعتماده على التيارات الطبيعية للهواء و كما إن صرفياته لطاقة الضخ للماء إلى أعلى البرج تكون كبيرة نسبيا بسبب إرتفاع البرج ، و يجب معرفة أن جريان الهواء في أبراج التبريد الطبيعية تكون مسيطر عليها أيضا.



### برج التبريد ذات التيار الميكانيكي (Mechanical draft tower):

أما أبراج التبريد الميكانيكية والتي تكون أكبر استعمالا، فتستعمل المراوح للسيطرة على معدل التدفق للهواء من خلال مروره في الحشوات، و إن هذه المراوح بالإمكان وضعها في أعلى البرج أو في أسفل البرج، إن برج التبريد الميكانيكي يشيد عادةً من الخشب أو الخرسانة وبداخله حشوات من الخشب المقاوم للماء أو من اللدائن وهذه الحشوات مرتبة بصورة تضمن ترويض الماء لتسهيل عملية التبادل الحراري بين الماء النازل والهواء الصاعد و بالتالي تبريد الماء إلى الدرجة المطلوبة.



وإن استيعاب الهواء لكمية الماء المغادر يعتمد على معدل الرطوبة ودرجة الحرارة للهواء.

### • بعض التعاريف المهمة :

#### ١. الرطوبة (Y) Humidity:

و هي نسبة الماء المحتوى في الهواء.

#### ٢. الرطوبة المطلقة (Absolute humidity):

و هي النسبة بين كتلة بخار الماء إلى كتلة الهواء الجاف و وحداتها (Kg/Kg).

#### ٣. قمة الرطوبة (Maximum humidity):

و هي حالة إشباع الهواء ببخار الماء و تكون هذه الحالة عند ظروف معينة من ضغط و درجة الحرارة.

#### ٤. الرطوبة النسبية (RH):

و تعرف على أنها النسبة بين الضغط الجزئي لبخار الماء الموجود في الهواء ( $P_{H_2O}$ ) و الضغط الجزئي لبخار الماء المشبع ( $P_S$ ) في نفس درجة الحرارة حيث أن :

$$RH = \frac{P_{H_2O}}{P_S}$$

$$\%RH = 100 \times \frac{P_{H_2O}}{P_S}$$

و يمكن تمثيله كنسبة مئوية و كما يأتي:

##### ٥. الضغط الجزئي (Partial Pressure):

هو ضغط مكون واحد نسبة إلى باقي المكونات في الخليط الغازي و إن كل ضغط جزئي يستخرج من الكسر المولي أو التركيز المولي للمكون في الخليط ( $y_A$ ) و الضغط الكلي للخليط عند نفس درجة الحرارة:

$$P_A = y_A \times P_T$$

##### ٦. الضغط الكلي (Total Pressure): هي مجموع الضغوط الجزئية لمكونات الخليط:

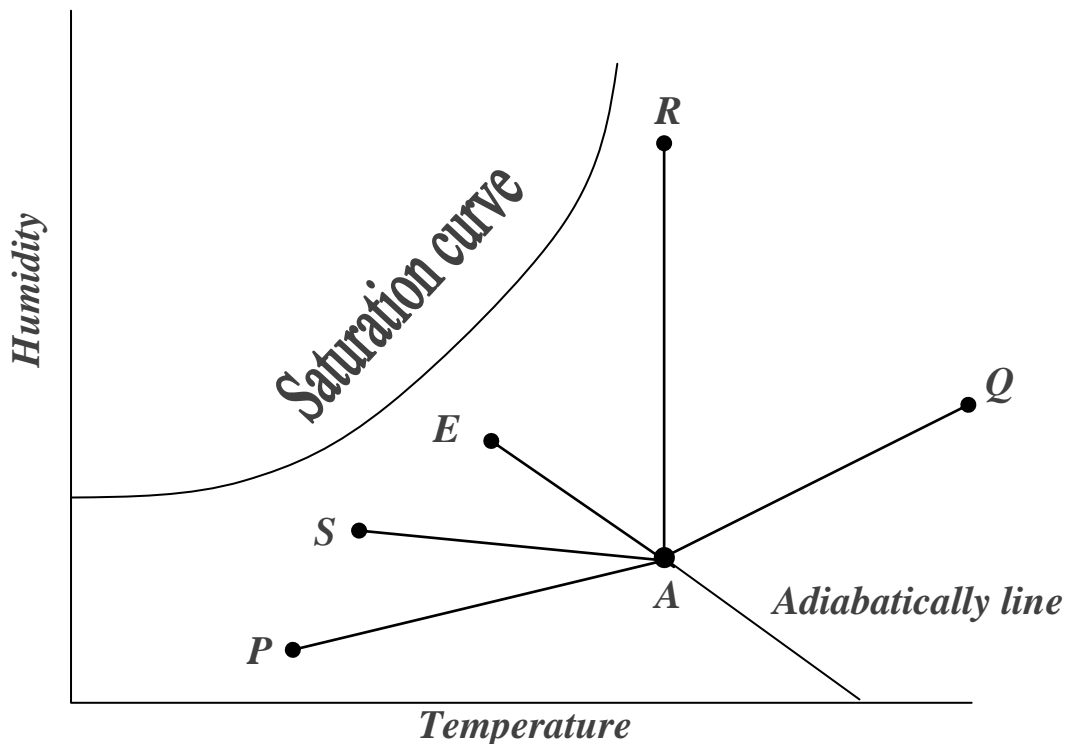
$$P_T = P_A + P_B + \dots$$

##### ٧. درجة حرارة الهواء الرطب (Wet-bulb temperature):

وهي الدرجة الحرارية التي تمثل درجة حرارة سطح الماء و التي تقاس بواسطة بصلة المحرار المحاطة بالفتيلة الرطبة عندما يتعرض إلى تيار الهواء المار عليه

##### نظرية التبريد:

إن عملية الترطيب يمكن أن تمثل بشكل مخطط للرطوبة يربط بين (الطور الغازي-درجة الحرارة) و المخطط يتضمن عدة حالات يمكن إيجادها من خلال الجريان المتعكس بين الهواء و الماء في برج التبريد:



إن المخطط يبين الشروط التي يجري فيها الهواء من قعر البرج في النقطة (A) إلى قمة البرج في التقاط (P,S,E,R,Q) و حسب الحالة و أن كل منحنى يمثل حالة من الحالات وكما يلي:

١. المنحني (AQ) / تبريد الماء مع تسخين و ترطيب الهواء:

هنا يجب أن تكون درجة حرارة الماء الداخل أكبر من درجة حرارة الهواء الداخل لذا يجب أن يسخن الماء قبل أن يدخل من قمة البرج حيث ينتشر بخار الماء من الحد الفاصل (Interface) إلى الهواء بسبب الفرق في تركيز بخار الماء و الذي يكون كقوة دافعة تعمل على نشر و انتقال بخار الماء إلى الهواء .

٢. المنحني (AR) / تبريد الماء مع تبريد و ترطيب الهواء:

إن الهواء الداخل إلى البرج يجب أن يكون ذو درجة حرارة أعلى من درجة حرارة الماء الداخل لكي يحدث تبريد و ترطيب الهواء.

٣. المنحني (AE) / التبريد الادبياتيكي للماء مع ترطيب الهواء:

هنا الوظيفة الرئيسية للبرج هي لترطيب الهواء أما الماء هنا فسوف يدور خلال البرج بدون تسخين.

٤. المنحني (AS) و (AP) / ليسا فعالين لتبريد الماء.

### الوصف العام للجهاز :

يتكون الجهاز من برج شفاف عمودي يحوي على حشوة ، الماء يضخ من الخزان بعد تسخينه إلى أعلى البرج و معدل الجريان للماء يمكن التحكم به من خلال (الروتوميتر) و هو أحد أجهزة قياس معدل تدفق المائع .

الماء سوف يوزع بانتظام من أعلى البرج فوق الحشوة و ذلك لتجنب حصول (ظاهرة القنوات) .

بعد خروج الماء من البرج يدور مرة ثانية إلى خزان التسخين و يتم إضافة ماء إلى الخزان ليبقى مستوى الماء في خزان التسخين ثابت كتعويض عن الماء المتبخر و المفقود .

إن التيار الهواء الداخل على البرج يجهز من أسفل البرج بواسطة مروحة و يعدل بواسطة مخمد و يقاس بواسطة (صفيحة الأورفس) بعد خروج الهواء من الحشوة الهواء يمرر نمـن خلال (Demister) .

إن خزان الماء الساخن مجهز بثلاث هيترات كهربائية مسيطر عليها من خلال الثرموستات.

و الجهاز مزود بنظام الكتروني لقياس درجة الحرارة . و هناك مانوميتر تفاضلي موضوع لقياس هبوط الضغط أو فرق الضغط عبر الحشوة و فتحة الأورفس.

### أجزاء جهاز برج التبريد (Parts of Device) :

١. البرج العمودي مصنوع من اللدائن الزجاجية الشفافة يحوي على حشوة بارتفاع ( 560 mm ) و رمزه (C1).
٢. مكان إضافة الماء للخران بسعة (1 Liter) مصنوع من نفس مادة البرج (D1).
٣. المروحة الدافعة و بمعدل جريان ( $1340 \text{ m}^3/\text{hr}$ ) و بارتفاع ( $80 \text{ mmH}_2\text{O}$ )، والرمز (P1).
٤. خزان الماء الحار مصنوع من (Stainless steel) رقم (AISI 304) وبسعة (9 Liter) والرمز (D2) ومجهز بثلاث هيترات كهربائية (500W) ورمزها (J1,J2,J3).
٥. مضخة الماء بمعدل تدفق ( $Q_{\max}=3\text{m}^3/\text{hr}$ ) و ارتفاع ( $H_{\max}=5 \text{ mmH}_2\text{O}$ ) ورمزها (G1).
٦. جهاز قياس تدفق الماء (Flow meter) حدودها (20-200 liter/hr) ورمزها (FI1).
٧. جهاز قياس فرق الضغط (أنبوبة المانوميتر المائل) بحدود ( $0-60 \text{ mmH}_2\text{O}$ ) .
٨. لوحة المفاتيح وتتضمن :
  - أ- المحارير الالكترونية ورمزها (TW2).
  - ب- مفتاح المروحة ومفتاح المقاومات.
  - ت- (E.L.C.B).

## تشغيل الجهاز (Startup) :

١. ضع الجهاز على منضدة قوية لأن وزن الجهاز (72 Kg) مع مراعاة التهوية الجيدة في المكان.
٢. راقب مستوى الماء في الجهاز.
٣. أغلق الصمام (V3).
٤. أفتح جزئياً الصمام (V1,V2).
٥. أملاً خزانات محار ير البصلة الرطبة (TI3,TI5) بالماء وتأكد من أن الشاشة الذي يغطي بصلتي هذين المحرارين مرطبان كلياً.
٦. أملاً خزان الماء الحار (D2) بالماء المقطر من خلال خزانات ال+//////تعويض أو الإضافة وإلى حد العلامة (D1).

**انتباه :** مستوى الماء داخل خزان تعويض الماء (D1) يجب أن يبقى بحد أدنى إلى مستوى (80 mm) و إذا لم يوجد ماء في الخزان (D1) فلا تقوم بتشغيل المسخنات الكهربائية (J1,J2,J3).

٧. أربط الجهاز بنقطة تجهيز الكهرباء (أحادي الطور).
٨. لقياس انخفاض الضغط في الحشوة أفتح الصمامات التناسبية الموضوعة على ساقى المانوميتر التفاضلي وأغلق بقية الصمامات و انظر تدريجات المانوميتر.
٩. لقياس فرق الضغط في صفيحة الأورفس أفتح الصمامات التناسبية الموضوعة على ساقى المانوميتر التفاضلي و أغلق البقية و لاحظ التدريجات المانوميتر.
١٠. أضغط على المفتاح E.L.C.B.
١١. نظم المحرار (TW2) على درجة (40 C°) وأعلى درجة يجب أن لا تتجاوز (50 C°).
١٢. شغل المضخة (G1) ومن ثم المسخنات (J1,J2,J3).
١٣. حدد معدل جريان الماء من خلال الصمام (V2) وكمثال ضعه على معدل ( 120 Liter/hr).
١٤. شغل المروحة (P1) و حدد معدل جريان الهواء و كمثال ضعه على (  $\Delta P=16$  mmH<sub>2</sub>O).
١٥. أنتظر (١٠ دقائق) للوصول إلى حالة الاستقرار.
١٦. قم بقراءة و تسجيل قراءة المانوميتر والقراءات الأخرى.

## توقيف الجهاز (Normal Shutdown) :

١. قم بإطفاء المسخنات (الإيقاف) .
٢. بعد (2-3) دقائق قم بإيقاف المروحة و المضخة .
٣. قم بإيقاف (E.L.C.B) .
٤. إذا بقي الجهاز بدون عمل لمدة أكثر من (4-5) أيام فيجب تفريغ الجهاز من الماء من خلال الصمام (V3) .

## • النتائج والحسابات:

### المعطيات -/

$$m = 0.165 \sqrt{\frac{\Delta P}{V_B}} = 0.165 \sqrt{\frac{\Delta P}{(1 + W_B)V_{AB}}}$$

- حيث أن (m) هي كتلة الهواء الجاف المار.
- ( $\Delta P$ ) فرق الضغط عبر الأورفس (mmH<sub>2</sub>O).
- ( $V_B$ ) الحجم النوعي للهواء الرطب الخارج.
- ( $W_B$ ) الرطوبة النوعية للهواء الخارج.
- ( $V_{AB}$ ) الحجم النوعي للهواء الجاف الخارج.
- أبعاد البرج (150\*150\*600 mm).

### مواصفات الحشوة -/

هناك ثلاثة أنواع من الحشوة ومواصفاتها هي كما يلي:

C	B	A	
8	8	8	عدد الطبقات
18	10	7	عدد الصفائح
2.8	1.56	1.1	المساحة الكلية (m <sup>2</sup> )
0.53	0.53	0.53	إرتفاع الحشوة (m)
235	131	92	المساحة السطحية النوعية للحشوة (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )

## مواصفات العناصر المسخنة الهيترات/-

تجهز الهيترات بقدرة مقدارها (230V) القدرة النظرية، والقدرة الموضوعة تضاعف من خلال  $(\frac{V_{local}}{230})^2$  وفي المثال المذكور تكون القدرة الموضوعة (212V)، والقدرة المؤثرة تكون (425V) لكل هيتر.

## بعض الثوابت المهمة /

السعة الحرارية للماء  $(cp_w) = (1 \text{ kcal} / \text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ ،

السعة الحرارية للهواء  $(cp_{air}) = (0.24 \text{ kcal} / \text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ ،  $1 \text{ Kw} = 860 \text{ Kcal/hr}$

## التجربة/-

١. إملئ الخزان إلى حد العلامة بالماء المقطر.
  ٢. تغيير درجات الحرارة ومعدلات الجريان وترك الجهاز لفترة (٥ دقائق).
  ٣. بعد نهاية الفترة الزمنية يملئ خزان الإضافة بكمية ماء جديدة وذلك باستخدام إسطوانة قياس واحسب كمية الماء المضافة خلال تلك الفترة الزمنية.
- ثم تجري موازنة المادة وموازنة الطاقة للبرج ووفق الشروط المقترحة والنتائج المثالية المدونة في الجدول أثناء الاستقرار.
- $(\Delta P)$  للأورفس = 16 mmH<sub>2</sub>O
- معدل جريان الماء = 120 lit/h
- حمل التبريد (cooling load)  $1 \text{ Kw} \approx 0.85 \text{ Kw}$

## نتائج التجربة/-

B	نوع الحشوة
$131 m^{-1}$	كثافة الحشوة
0.125 Kg	كمية الماء المضاف
300 sec	زمن التجربة t
16.6 °C	درجة حرارة الماء المضاف
14.9 °C	درجة حرارة الماء الخارج
23.7 °C	درجة حرارة الماء الداخل
17.5 °C	درجة حرارة الهواء الرطب الخارج
13.6 °C	درجة حرارة الهواء الرطب الداخل
17.7 °C	درجة حرارة الهواء الجاف الخارج
20.7 °C	درجة حرارة الهواء الجاف الداخل

لإيجاد كل من إنثالبية الهواء الداخل ( $H_A$ ) وإنثالبية الهواء الخارج ( $H_B$ ) والرطوبة المطلقة للهواء الداخل ( $W_A$ ) والرطوبة المطلقة للهواء الخارج ( $W_B$ )، تستخدم درجة الحرارة للهواء الرطب والجاف الداخل في نقطة (A) والخارج في نقطة (B) وذلك بالتسقيط على مخطط الرطوبة (PSY Chmetric chart).

ومن المخطط ودرجات الحرارة يمكن إيجاد:

- إنثالبية الهواء الداخل ( $H_A$ ) = 38.1 kJ/kg
  - الرطوبة المطلقة للهواء الداخل ( $W_A$ ) = 0.0068 kg/kg
  - إنثالبية الهواء الخارج ( $H_B$ ) = 49.3 kJ/kg
  - الرطوبة المطلقة للهواء الخارج ( $W_B$ ) = 0.0123 kg/kg
- وكذلك ( $V_{AB}$ ) الحجم النوعي للهواء الجاف الخارج =  $0.841 \frac{m^3}{kg_{dry}}$

ولإيجاد معدل جريان الهواء الداخل تستخدم معادلة الأورفس الخاصة بالجهاز:

$$m_B = 0.0165 \sqrt{\frac{\Delta P}{(1 + W_B)V_{AB}}}$$

$$m_B = 0.0165 \sqrt{\frac{16}{(1+0.0123)0.841}} \rightarrow m_B = 0.071 \text{ Kg/sec}$$

$$\frac{\text{الماء المضاف (} m_{mu} \text{)}}{\text{الزمن (t)}} = (\text{make up rate})$$

$$(\text{make up rate}) = \frac{0.125 \text{ kg}}{300 \text{ sec}} = 1.5 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} = 0.00042 \text{ kg/sec}$$

$$(\text{معدل التبخير}) \text{ Evaporation rate} = m_B(W_B - W_A)$$

$$= 0.071 (0.0123 - 0.0068) = 0.00039 \text{ kg/sec} = 1.4 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

$$\text{السعة الحرارية للماء المضاف} = \text{السعة الحرارية للماء} * \text{درجة حرارة الماء المضاف}$$

$$\text{Specific enthalpy of make up at } T=16.6^\circ\text{C}$$

$$= 16.6 * 1 = 16.6 \text{ kcal/kg}$$

$$\text{وبما أنه (1 kcal = 4.18 kJ)}$$

$$16.6 \text{ kcal/kg} * 4.18 \text{ kJ/kcal} = 69.5 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Specific enthalpy of makeup} = 69.5 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{array}{l} \text{معدل الحرارة المضافة} \quad \text{معدل الماء المضاف} \quad \text{السعة الحرارية للماء المضاف} \\ \text{Specific enthalpy of make up} * (\text{make up rate}) = \text{للماء المضاف} \end{array}$$

$$1.5 * 69.5 = 104.25 \text{ kJ/hr} = 29 \text{ W=J/sec} = 0.029 \text{ KW}$$

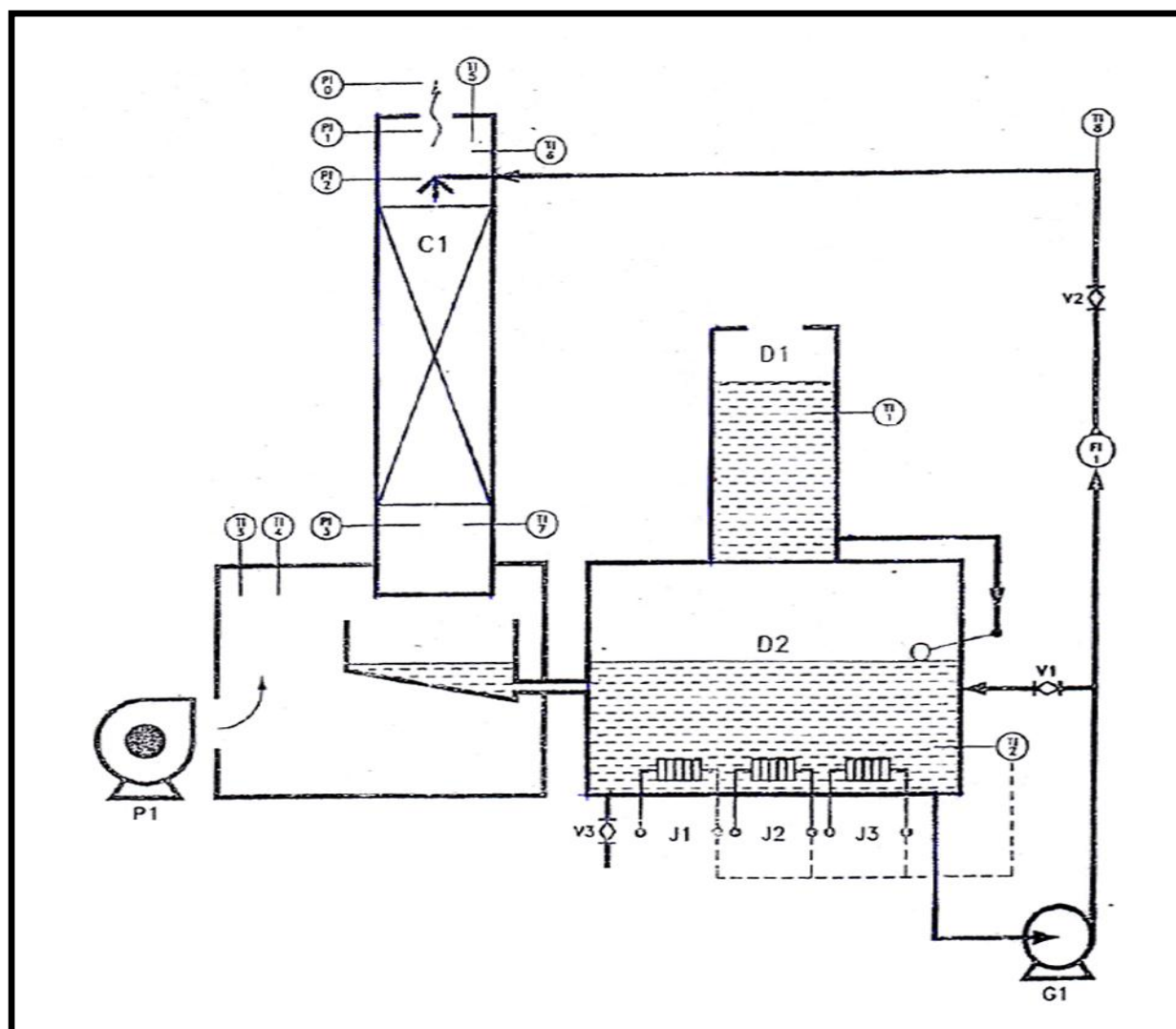
$$[(H_A) - (H_B)] m_B = (\text{air enthalpy change}) \text{ التغير في حرارة الهواء}$$

$$\begin{aligned} \text{Air enthalpy change} &= m_B [(H_B) - (H_A)] \\ &= 0.071 (49.3 - 38.1) \rightarrow = 0.8 \text{ KW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{كمية الحرارة المضافة للهواء} &= \text{التغير في حرارة الهواء} - \text{معدل الحرارة المضافة للماء المضاف} \\ &= 0.8 - 0.029 = 0.77 \text{ KW} \end{aligned}$$

$$\text{التغير في حرارة الماء الداخل} = \text{كتلة الماء الداخل} * \text{السعة الحرارية للماء} * \text{فرق درجات الحرارة}$$

$$\begin{aligned} \text{Water enthalpy change} &= m_w \cdot c_p \cdot (T_i - T_o) \\ &= 120 * 1 * (23.7 - 14.9) \rightarrow = 1 \text{ KW} \end{aligned}$$



مخطط يوضح أجزاء جهاز برج التبريد