

# UA: Ingeniería térmica

|                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| Horas teóricas                       | 4.0  |
| Horas prácticas                      | 1.0  |
| Total de horas                       | 5.0  |
| Créditos institucionales             | 9.0  |
| Título del material                  | Ciclos de refrigeración por compresión de un vapor |
| Tipo de unidad de aprendizaje        | curso  |
| Carácter de la unidad de aprendizaje | obligatoria  |
| Núcleo de formación                  | Sustantivo   |
| Programa educativo                   | Ingeniería Mecánica                                |
| Espacio académico                    | Facultad de Ingeniería                             |
| Responsable de la elaboración        | Juan Carlos Posadas Basurto                        |

# Índice

|  | <b>Página</b> |
|--|---------------|
| Presentación                                       | 1             |
| Estructura de la unidad de aprendizaje             | 2             |
| Contenido de la presentación                       | 4             |
| Antecedentes                                       | 6             |
| Principio de refrigeración por compresión de vapor | 7             |
| Uso de la refrigeración                            | 9             |
| Sistemas de refrigeración                          | 10            |
| Toneladas de refrigeración                         | 11            |
| Ciclo reversible de Carnot                         | 12            |
| Ciclo de Carnot con cambio de fase                 | 13            |
| Ciclo de Carnot inverso                            | 15            |

|   | <b>Página</b> |
|---|---------------|
| Deficiencias del ciclo de Carnot inverso                                | 16            |
| Modificación del ciclo de Carnot inverso                                | 17            |
| Partes principales del sistema de refrigeración por compresión de vapor | 18            |
| Sistema de refrigeración por compresión de un vapor                     | 19            |
| Coefficiente de operación   | 20            |
| Refrigerantes   | 21            |
| Propiedades termodinámicas de los refrigerantes                         | 22            |
| Propiedades físicas y químicas de los refrigerantes                     | 23            |
| Número del refrigerante   | 25            |
| Tipos de refrigerantes  | 27            |

|  | <b>Página</b> |
|--|---------------|
| Sistema de refrigeración en cascada                          | 28            |
| Flujos superior e inferior                                   | 30            |
| Sistemas de refrigeración por compresión de múltiples etapas | 31            |
| Ciclo real de refrigeración por compresión de vapor          | 33            |
| Bibliografía   | 35            |

# Presentación

- La unidad de aprendizaje Ingeniería Térmica es obligatoria y se sugiere cursarla en el sexto período.
- Como Unidad de Aprendizaje antecedente está Termodinámica, en el quinto periodo, donde se revisan los principios, las propiedades de las sustancias puras, la ley de los gases ideales, manejo de tablas y diagramas de aire, de vapor de agua y de refrigerantes, análisis de ciclos de acuerdo a las leyes de la Termodinámica.
- El discente que aprueba la Unidad de Aprendizaje Termodinámica es capaz de analizar ciclos termodinámicos. Uno de estos ciclos es el de refrigeración por compresión de un vapor.

# Estructura de la unidad de aprendizaje

1. De las distintas fuentes de energía suministradas a los sistemas termodinámicos para generar energía mecánica (sistemas de potencia) y para absorber energía térmica (sistemas de refrigeración), valorar la importancia que tiene el estudio de la Ingeniería Térmica (Termodinámica Aplicada) en la aplicación de energías renovables y mejora de los dispositivos térmicos.
2. A partir de motores que utilizan aire como fluido de trabajo y tienen un rendimiento térmico igual al de la máquina de Sadi Carnot, analizar los sistemas de potencia propuestos por Robert Stirling y John Ericcson.
3. Considerando los motores térmicos que actualmente son ensamblados a vehículos terrestres, aéreos y acuáticos, y que utilizan combustibles fósiles para su accionamiento, analizar cada uno de ellos (Otto, Diesel, Dual, Brayton), determinando sus ineficiencias y posibles mejoras.

4. Dada la importancia de generar energía eléctrica para abastecer las necesidades de cualquier ciudad, se analizan las propuestas de sistemas térmicos de potencia (Diesel, Brayton, Rankine) para conectarse a un generador eléctrico, tomando en cuenta el combustible utilizado y la contaminación producida.
5. Para la conservación de alimentos y bebidas en lugares tales como hogares, restaurantes y hoteles, se analiza el sistema de refrigeración por compresión de un vapor considerando las propuestas de mejora del ciclo termodinámico y los fluidos de trabajo utilizados para tal fin.
6. De la propuesta de utilizar aire para un sistema de enfriamiento, se analiza el ciclo de refrigeración por compresión de un gas (aire).
7. Considerando que hay propuestas de mejora de sistemas de refrigeración, se analiza el ciclo de refrigeración por absorción de un vapor, determinando sus mejoras e ineficiencias.



# Contenido de la presentación

- La presentación comprende el punto 5 de la estructura de la Unidad de Aprendizaje.
- Inicia con antecedentes de refrigeración, usos y refrigeración por compresión de un vapor.
- Se analiza la máquina inversa de Carnot y la unidad que determina la capacidad de refrigeración (Tonelada de refrigeración).
- Se muestra el ciclo básico de refrigeración por compresión de un vapor, la ecuación que determina el desempeño de un refrigerador (Coeficiente de Operación), y los refrigerantes utilizados y su nominación.
- Se revisan las modificaciones al ciclo de refrigeración por compresión de un vapor y se dan algunas características del ciclo de refrigeración real.
- Al final de la presentación se incluye un apartado de referencias para que tanto el docente como el discente profundicen en los temas de interés.



# Sistemas de refrigeración por compresión de un vapor

Ingeniería térmica

# Antecedentes

- La energía térmica fluye desde una zona de alta temperatura a una de baja temperatura sin necesidad de algún dispositivo (Pita, 1997)
- De acuerdo al segundo principio de la termodinámica, el proceso inverso no sucede por sí solo, se requiere de un gasto de energía suministrada en dispositivos especiales conocidos como refrigeradores (Pita, 1997).
- Si el propósito del sistema es eliminar energía térmica de una fuente de baja temperatura, es un refrigerador. Si el propósito es entregar energía térmica a una fuente de alta temperatura, es una bomba térmica (Wu, 2007).
- El ciclo de refrigeración que se utiliza con más frecuencia es por compresión de vapor, donde el refrigerante se evapora y se condensa alternadamente, para luego comprimirse en la fase de vapor (Cengel & Boles, 2009).

# Principio de refrigeración por compresión de vapor

(Reynolds & Perkins, 1980)

- Para refrigerar un espacio se expone un fluido con temperatura más baja que la temperatura deseada.
- La transferencia de energía térmica del espacio refrigerado al fluido mantiene baja la temperatura de dicho espacio.
- La temperatura en el espacio refrigerado no se aumenta por la energía térmica de los alrededores a temperatura ambiente debido a sus paredes aisladas.
- El fluido se recircula en el sistema para una extracción continua de energía térmica del espacio frío.

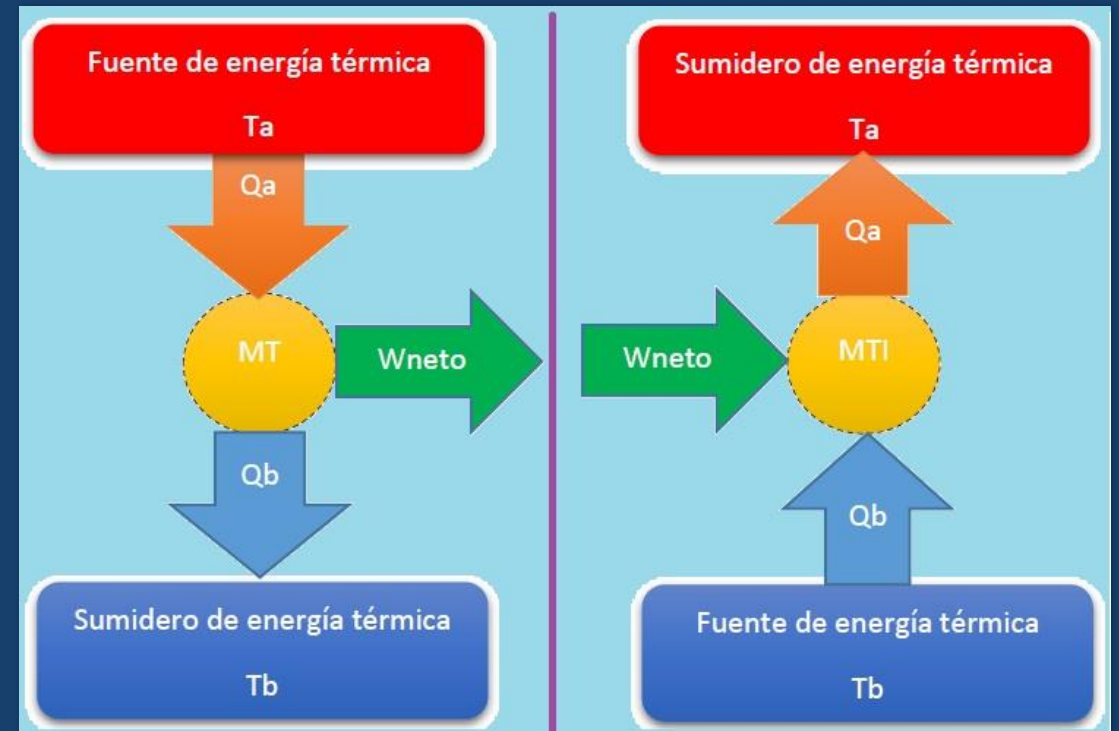
- En un intercambiador de calor se transfiere energía térmica del fluido hacia los alrededores. El fluido debe estar a una temperatura ligeramente más alta que la de los alrededores para realizar la transferencia de energía.
- Por medio de una válvula de expansión se obtiene un fluido de poca calidad (cantidad de vapor) a una baja temperatura.
- El fluido de baja temperatura se evapora al absorber energía térmica de la región a refrigerar.
- Una vez evaporado el fluido frío se eleva su presión (se comprime) para que su temperatura sea mayor que la de los alrededores y así poder disipar la energía térmica.

# Usos de la refrigeración (Pita, 2001)

- En el hogar para la preparación y conservación de los alimentos, fabricación de hielo y enfriar bebidas.
- En el comercio con los mismos fines que el hogar.
- En la industria para el procesamiento, preparación y preservación en gran escala.
- En sistemas de aire acondicionado

# Sistemas de refrigeración (Balmer, 2011)

- La máquina térmica inversa (MTI) o sistema de refrigeración tiene sentido contrario al ciclo de una máquina térmica de potencia (MT).
- La MTI recibe trabajo ( $W_{\text{neto}}$ ) para absorber energía térmica ( $Q_b$ ) de una fuente de baja temperatura ( $T_b$ ) y expulsa energía térmica ( $Q_a$ ) a un sumidero de alta temperatura ( $T_a$ ).
- El efecto de refrigeración es la remoción de energía térmica de la fuente y su tasa se da en toneladas de refrigeración.





# Tonelada de refrigeración (Balmer, 2011)

- Una tonelada de refrigeración (1 *TR*) o de aire acondicionado es la cantidad de energía térmica (334.9 kJ/kg) que debe ser removida de 1 tonelada (907.18 kg o 2000 lbm) de agua en un día (24 horas) para congelarla a 0° C (32° F) y a presión atmosférica.
- También es la cantidad de energía térmica absorbida por la fusión de 1 tonelada (907.18 kg o 2000 lbm) de hielo en 24 horas a 0° C (32° F) y presión atmosférica.

$$1TR = \frac{334.9 \text{ [kJ/kg]} \times 907.18 \text{ [kg]}}{24 \text{ [h]} \times 3600 \text{ [s/h]}} = 3.516 \text{ kW} \quad (\text{Burghardt \& Harbach, 1993})$$

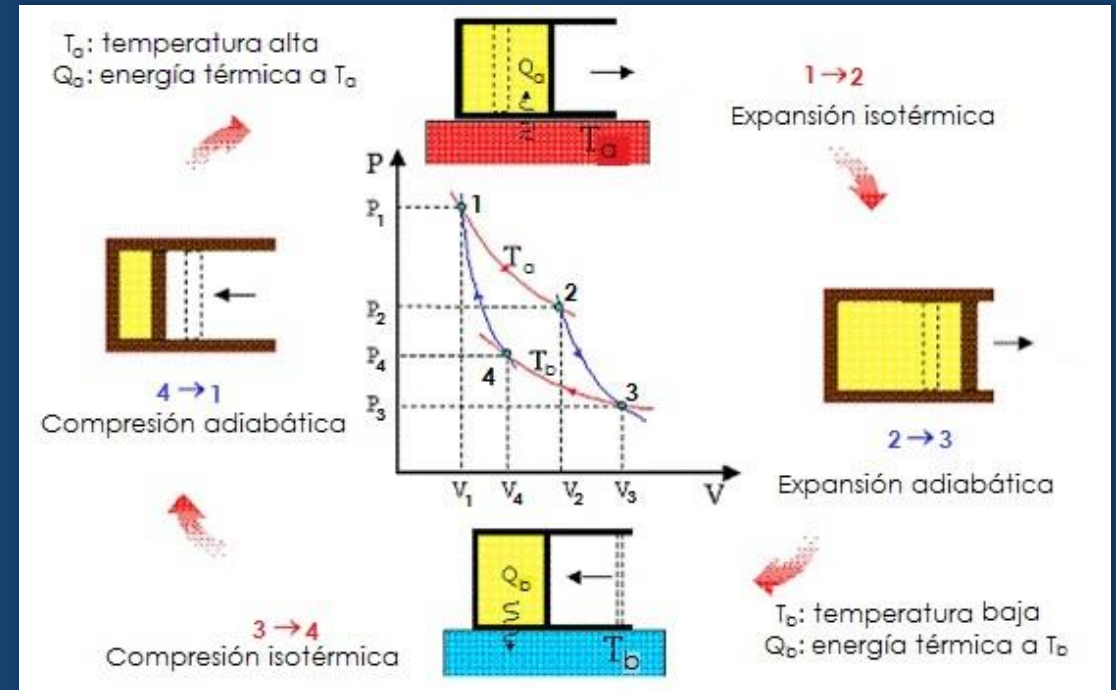


# Ciclo reversible de Carnot

- El ciclo reversible de Carnot se compone de dos procesos isotérmicos y de dos procesos isoentrópicos.
- Tiene el máximo rendimiento térmico para los límites de temperatura.

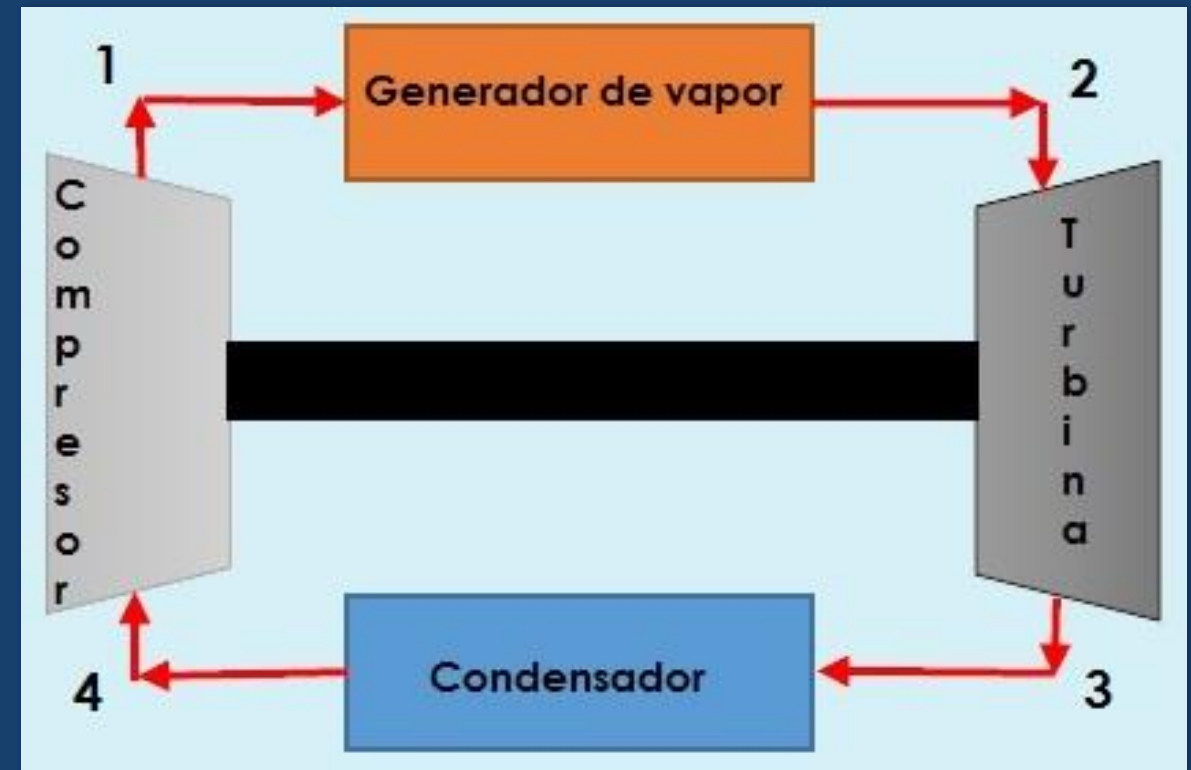
$$\eta = 1 - \frac{T_b}{T_a}$$

- Es un valor máximo contra el cual los ciclos de potencia reales se comparan.

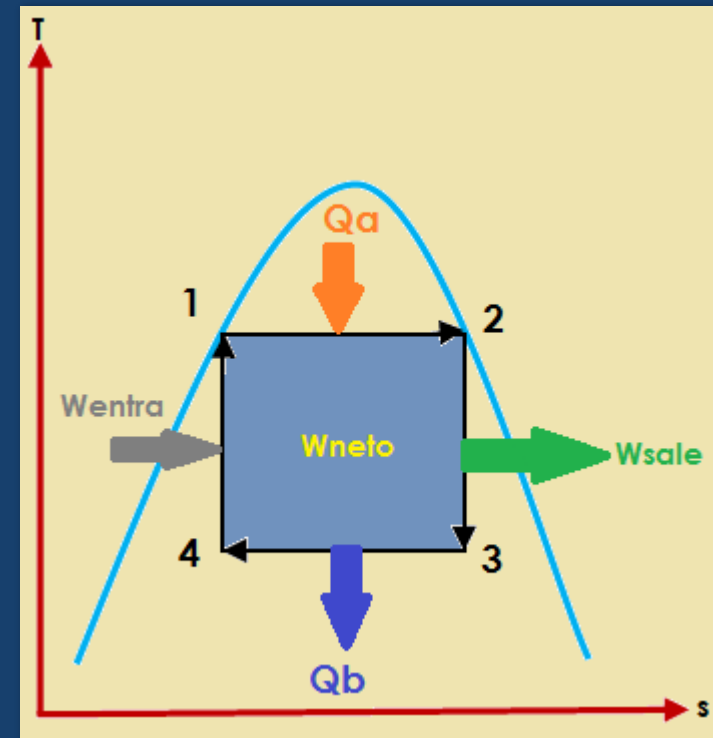


# Ciclo de Carnot con cambio de fase

- Para cambiar la fase de líquido saturado a vapor saturado (proceso 1 a 2) se utiliza un generador de vapor.
- De 2 a 3 el vapor se expande en una turbina para generar trabajo mecánico, y salir como mezcla líquido y vapor.
- La mezcla se condensa del estado 3 al estado 4 a una calidad mayor que 0%.
- La mezcla de baja calidad se comprime desde el estado 4 para alcanzar la presión del estado 1 y reiniciar el ciclo.

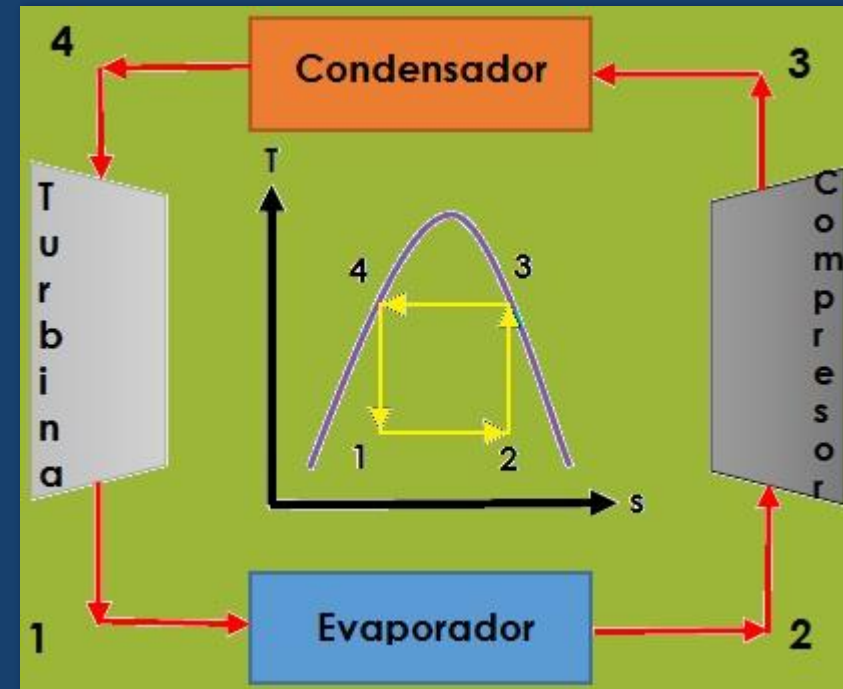


- Proceso 1-2. El fluido de trabajo absorbe energía térmica ( $Q_a$ ) de una fuente de alta temperatura  $T_a$ .
- Proceso 2-3. Se expande hasta el estado 3 isentrópicamente disminuyendo la temperatura a  $T_b$ .
- Proceso 3-4. Rechaza energía térmica ( $Q_b$ ) isotérmicamente a un sumidero de baja temperatura a  $T_b$ .
- Proceso 4-1. Se comprime hasta la presión del estado 1 isentrópicamente aumentando la temperatura a  $T_a$ .



# Ciclo de Carnot inverso (Cengel & Boles, 2009)

- Proceso 1-2 El refrigerante absorbe energía térmica a baja temperatura  $T_b$  en la cantidad de  $Q_b$ .
- Proceso 2-3 Se comprime hasta el estado 3 isentrópicamente (la temperatura se eleva hasta  $T_a$ ).
- Proceso 3-4 Se rechaza energía térmica isotérmicamente a alta temperatura  $T_a$  en la cantidad de  $Q_a$ .
- Proceso 4-1 Se expande isentrópicamente hasta el estado 1 (la temperatura desciende hasta  $T_b$ ).



# Deficiencias del ciclo de Carnot inverso

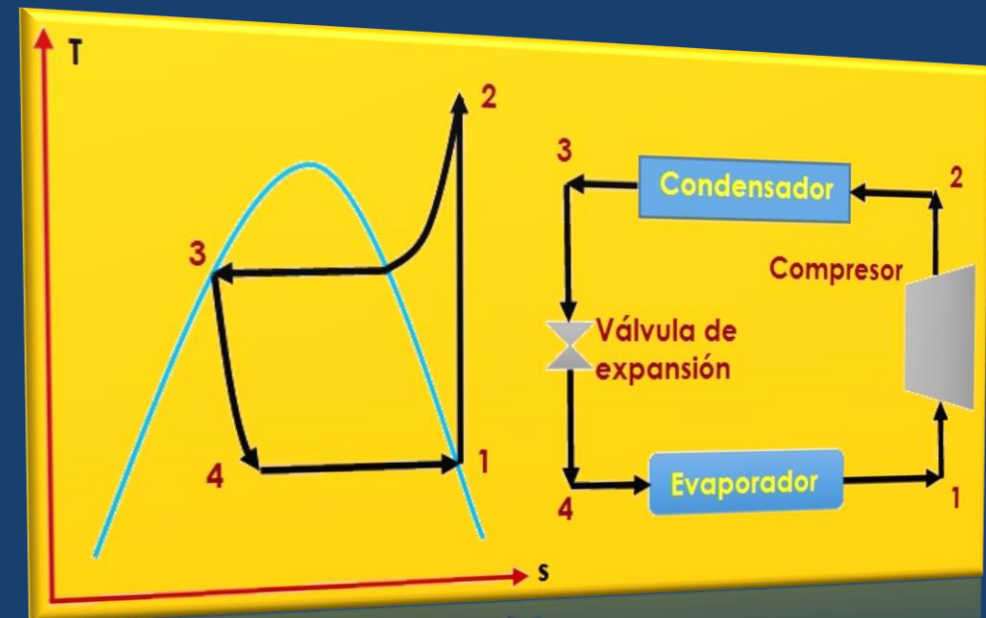
(Cengel & Boles, 2009)

- Los dos procesos isotérmicos se pueden obtener en la práctica ya que al mantener una presión constante se fija la temperatura de una mezcla de dos fases en el valor de saturación. Los procesos 1-2 y 3-4 pueden aproximarse en los evaporadores y condensadores reales.
- Los procesos 2-3 y 4-1 no se aproximan en la práctica. En el proceso 2-3 se requiere un compresor que maneje dos fases. El proceso 4-1 implica la expansión de un refrigerante con alto contenido de humedad en una turbina.
- El ciclo inverso fuera de la región de saturación tiene dificultades para mantener las condiciones isotérmicas durante los procesos de absorción y rechazo de energía térmica.
- El ciclo inverso de Carnot sirve como un estándar contra el cual se comparan los ciclos reales de refrigeración.



# Modificación del ciclo de Carnot inverso

- Evaporar el refrigerante por completo antes de que se comprima y sustituir la turbina con un dispositivo de expansión.
- Procesos:
  - ✓ 1-2 Compresión isentrópica.
  - ✓ 2-3 Rechazo de energía térmica a presión constante.
  - ✓ 3-4 Estrangulamiento isoentálpico.
  - ✓ 4-1 Absorción de energía térmica a presión constante.



# Partes principales del sistema de refrigeración por compresión de vapor

- Evaporador. Absorbe la energía térmica a baja temperatura cambiando la fase del refrigerante de líquido a vapor.
- Condensador. Cambiador de energía térmica latente que convierte el vapor en estado líquido.
- Válvula de expansión o tubo capilar. Reduce la presión sobre el refrigerante líquido.
- Compresor. Eleva la presión del refrigerante al reducir su volumen. También aumenta su temperatura.

(Instituto Tecnológico de Minatitlán, 2013)





# Sistema de refrigeración por compresión de un vapor (Balmer, 2011)

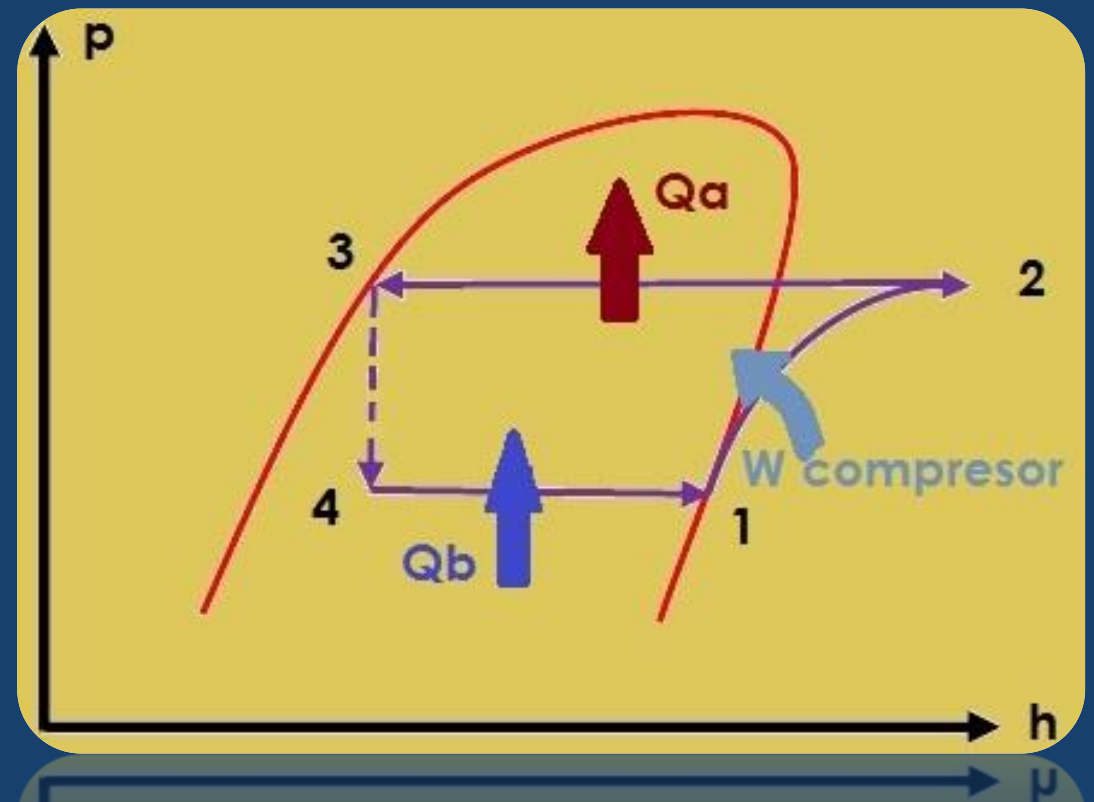
- Las modificaciones al ciclo de Carnot inverso dan como resultado el ciclo de refrigeración por compresión de un vapor.
- Todos los sistemas de refrigeración de ciclo de compresión de vapor operan esencialmente en un ciclo de Rankine inverso.
- En estos sistemas, la caldera se denomina normalmente evaporador y la turbina es reemplazada por un compresor. Además, parecería razonable reemplazar la bomba de alimentación de la caldera del ciclo de Rankine reversible con alguna forma de motor primario en el ciclo de Rankine inverso, cuya salida de trabajo podría utilizarse para compensar la entrada de trabajo al compresor. Lamentablemente, esto no es económicamente factible en la mayoría de los sistemas de refrigeración de pequeña y mediana escala.

# Coeficiente de operación (COP)

- El sistema de refrigeración por compresión de vapor realiza un ciclo internamente irreversible por que cuenta con un proceso irreversible (estrangulamiento).
- Los COP del refrigerador y la bomba térmica bajo el ciclo de refrigeración por compresión de vapor se expresan como

$$COP_{Refrigerador} = \frac{Q_b}{W_{compresor}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

$$COP_{Bomba\ térmica} = \frac{Q_a}{W_{compresor}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$



# Refrigerantes (Emerson, 2013)

- Un refrigerante es cualquier cuerpo o sustancia que actúe como agente de enfriamiento, absorbiendo energía térmica de otro cuerpo o sustancia.
- Los refrigerantes se identifican por números después de la letra R, que significa refrigerante. El sistema de identificación ha sido estandarizado por la ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers).
- El refrigerante ideal es capaz de descargar en el condensador toda la energía térmica que absorba del evaporador, la línea de succión y el compresor.
- Los refrigerantes reales regresan al evaporador arrastrando una cierta porción de energía térmica, reduciendo su capacidad para absorber energía térmica en el lado de baja.
- Para que un líquido pueda ser utilizado como refrigerante, debe reunir ciertas propiedades, tanto termodinámicas como físicas y químicas.

# Propiedades termodinámicas de los refrigerantes

(Emerson, 2013)

- Operar con presiones positivas (superiores a la presión atmosférica). La presión de condensación debe ser lo suficientemente baja, ya que esto determina el tamaño del compresor y del condensador. Mientras más alta sea la presión, se requiere un equipo más robusto, y por lo tanto, más caro.
- Temperatura crítica por arriba de la temperatura de condensación.
- Temperatura de congelación por debajo de la temperatura del evaporador.
- Temperatura de ebullición baja.
- Valor bajo de volumen específico en fase vapor, y un valor alto de volumen en fase líquida.
- Valor alto de la diferencia de entalpía en cambio de fase líquido a vapor.

# Propiedades físicas y químicas de los refrigerantes

(Emerson, 2013)

- No debe ser tóxico ni venenoso.
- No debe ser explosivo ni inflamable.
- No debe tener efecto sobre otros materiales.
- Fácil de detectar cuando se fuga.
- Debe ser miscible con el aceite.
- No debe reaccionar con la humedad.
- Debe ser un compuesto estable.



**Sistema de numeración de algunos refrigerantes según la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado**

| Número de refrigerante | Fórmula química                               | Punto de ebullición a presión atmosférica |        |
|------------------------|---|---|--------|
|                        |   | °F  | °C     |
| R-10                   | CCl <sub>4</sub>                              | 170.2                                     | 76.8   |
| R-11                   | CCl <sub>3</sub> F                            | 74.9                                      | 23.8   |
| R-12                   | CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>               | -21.6                                     | -29.8  |
| R-21                   | CHCl <sub>2</sub> F                           | 48.1                                      | 8.9    |
| R-22                   | CHClF <sub>2</sub>                            | -41.4                                     | -40.8  |
| R-30                   | CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>               | 105.2                                     | 40.7   |
| R-40                   | CH <sub>3</sub> Cl                            | -14.8                                     | -23.8  |
| R-50                   | CH <sub>4</sub> (Metano)                      | -259.0                                    | -161.7 |
| R-110                  | C <sub>2</sub> Cl <sub>6</sub>                | 365.0                                     | 185.0  |
| R-111                  | C <sub>2</sub> Cl <sub>5</sub> F              | 279.0                                     | 137.2  |
| R-112                  | C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub> F <sub>2</sub> | 199.0                                     | 92.8   |
| R-123                  | CHCl <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>             | 81.7                                      | 27.6   |
| R-134a                 | CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>              | -15.7                                     | -26.2  |
| R-170                  | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (Etano)         | -127.8                                    | -88.8  |
| R-290                  | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (Propano)       | -43.7                                     | -42.1  |
| R-600                  | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (Butano)       | 33.1                                      | 0.6    |
| R-717                  | NH <sub>3</sub> (Amoníaco)                    | -28.0                                     | -33.3  |
| R-718                  | H <sub>2</sub> O (Agua)                       | 212.0                                     | 100.0  |

*ASHRAE Handbook—1985 Fundamentals.*

# Número del refrigerante (Balmer, 2011)

- La mayoría de los hidrocarburos halogenados utilizados en la refrigeración tienen una estructura molecular de la forma



- Las valencias atómicas requieren que

$$c = 2(a + 1) - b - d$$

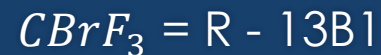
- Estos compuestos reciben números de refrigerante R definidos por

$$(a - 1)(b + 1)d$$

- Cuando  $a = 1$ , entonces  $a - 1 = 0$  (la serie de metano de hidrocarburos halogenados) y el cero se omite en el número R. Por ejemplo, el tetracloruro de carbono,  $CCl_4$ , tiene  $a = 1, b = 0, c = 4$  y  $d = 0$ . Por consiguiente, su número R es  $R - (0)(0 + 1)0 = R - 010 = R - 10$



- Los compuestos de bromo se indican con una B después del número R seguido por el número de átomos de bromo. Por ejemplo



- Además, el etano y las bases hidrocarbonadas superiores pueden tener numerosos isómeros (compuestos que contienen el mismo número de átomos, pero ensamblados de diferentes maneras). En estos casos, a la disposición atómica más simétrica se le asigna el número R de base R- (a-1) (b + 1) d, y los restantes arreglos reciben los sufijos a, b, c,..., conforme la molécula refrigerante es cada vez menos simétrica.

- Por ejemplo

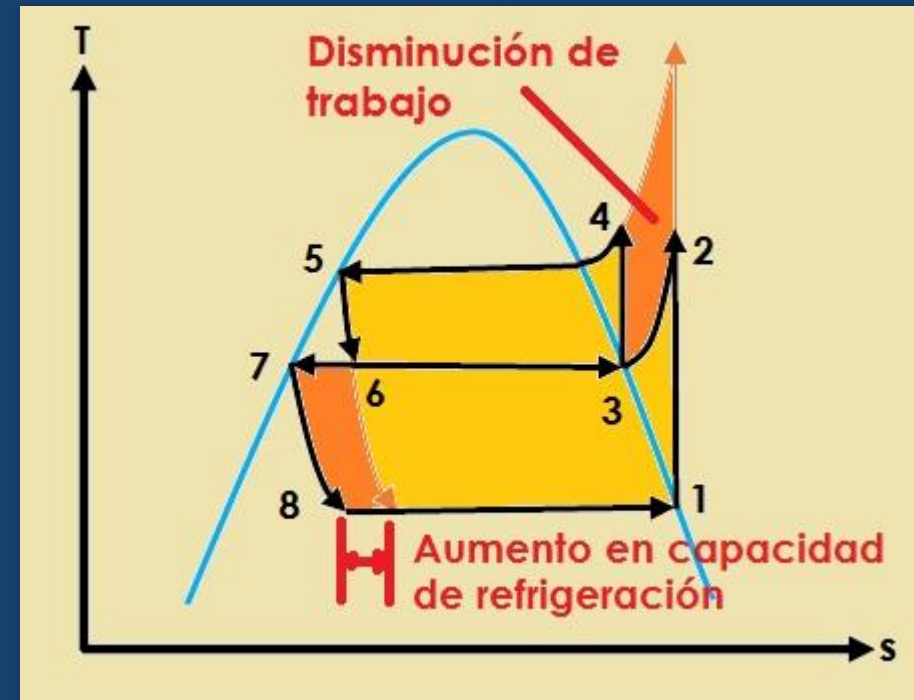


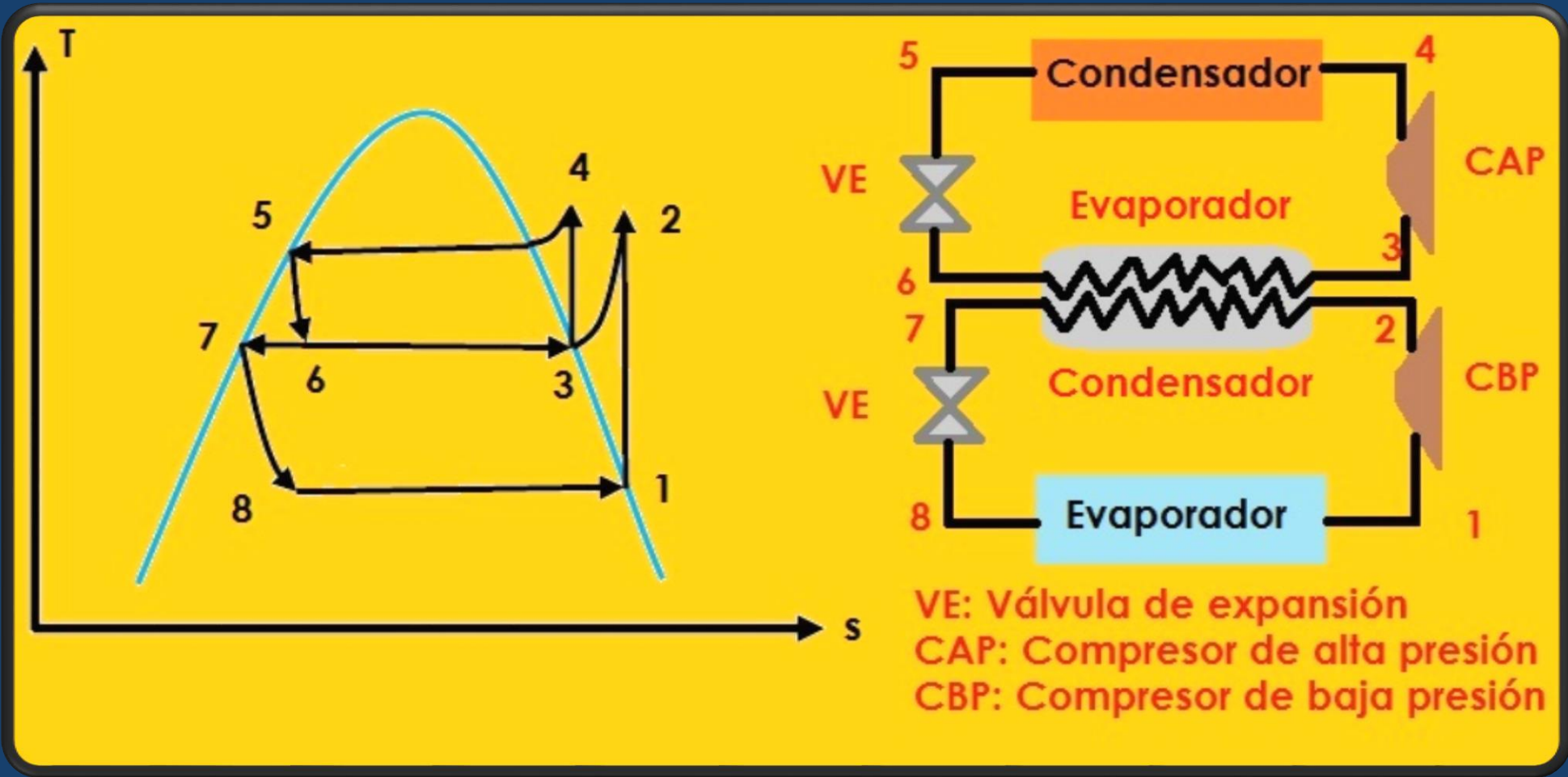
# Tipos de refrigerantes (Balmer, 2011)

- Aunque el agua es el refrigerante más barato y más seguro disponible, se limita a aplicaciones de alta temperatura tales como refrigeración por chorro de vapor.
- La mayoría de las necesidades de refrigeración son a temperaturas cercanas al punto de congelación del agua.
- En la actualidad se están desarrollando refrigerantes que no dañan la capa de ozono y que protejan a la Tierra de los dañinos rayos ultravioleta. El alguna vez popular R-12 fue en gran parte reemplazado por el recientemente desarrollado R-134a, libre de cloro. (Cengel & Boles, 2009).
- Si ningún refrigerante simple cubre los requisitos de temperatura, entonces dos o más ciclos de refrigeración con diferentes refrigerantes se usan en serie. Un sistema de refrigeración de estas características se llama sistema en cascada (Cengel & Boles, 2009).

# Sistemas de refrigeración en cascada

- La refrigeración en cascada se realiza por etapas y tiene dos o más ciclos de refrigeración que operan en serie.
- En el sistema en cascada los refrigerantes de cada ciclo pueden ser diferentes ya que no se produce mezcla en el intercambiador de calor.
- Con este sistema el trabajo del compresor disminuye y la cantidad de energía térmica absorbida del espacio refrigerado aumenta, mejorando el COP del sistema de refrigeración.





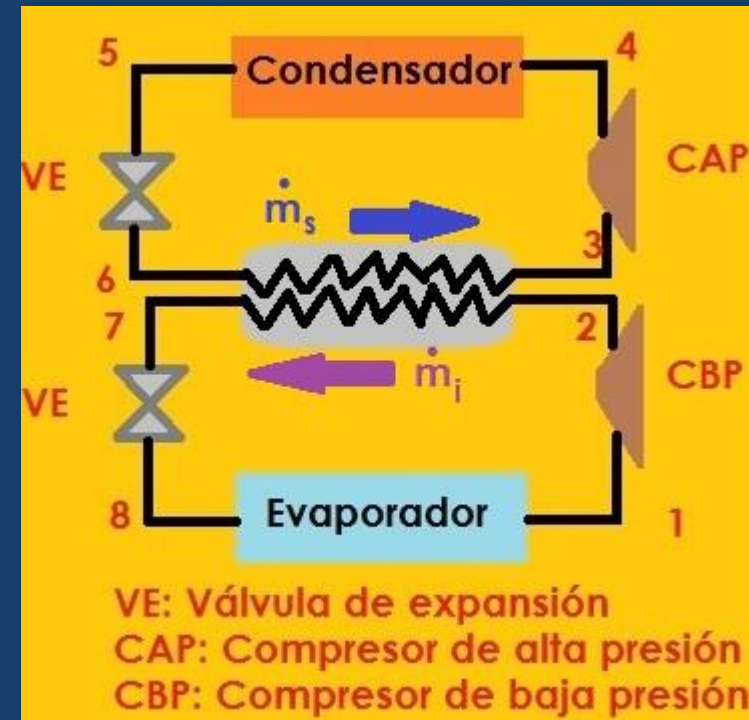
CBP: Compresor de baja presión  
 CAP: Compresor de alta presión  
 VE: Válvula de expansión



# Flujos superior e inferior

- Los dos ciclos se conectan por medio de un intercambiador de energía térmica en medio, el cual sirve como el evaporador para el ciclo superior y como el condensador en el ciclo inferior.
- Suponiendo que el intercambiador cuenta con paredes adiabáticas y se desprecian las energías cinética y potencial, la relación de los flujos másicos en cada ciclo es

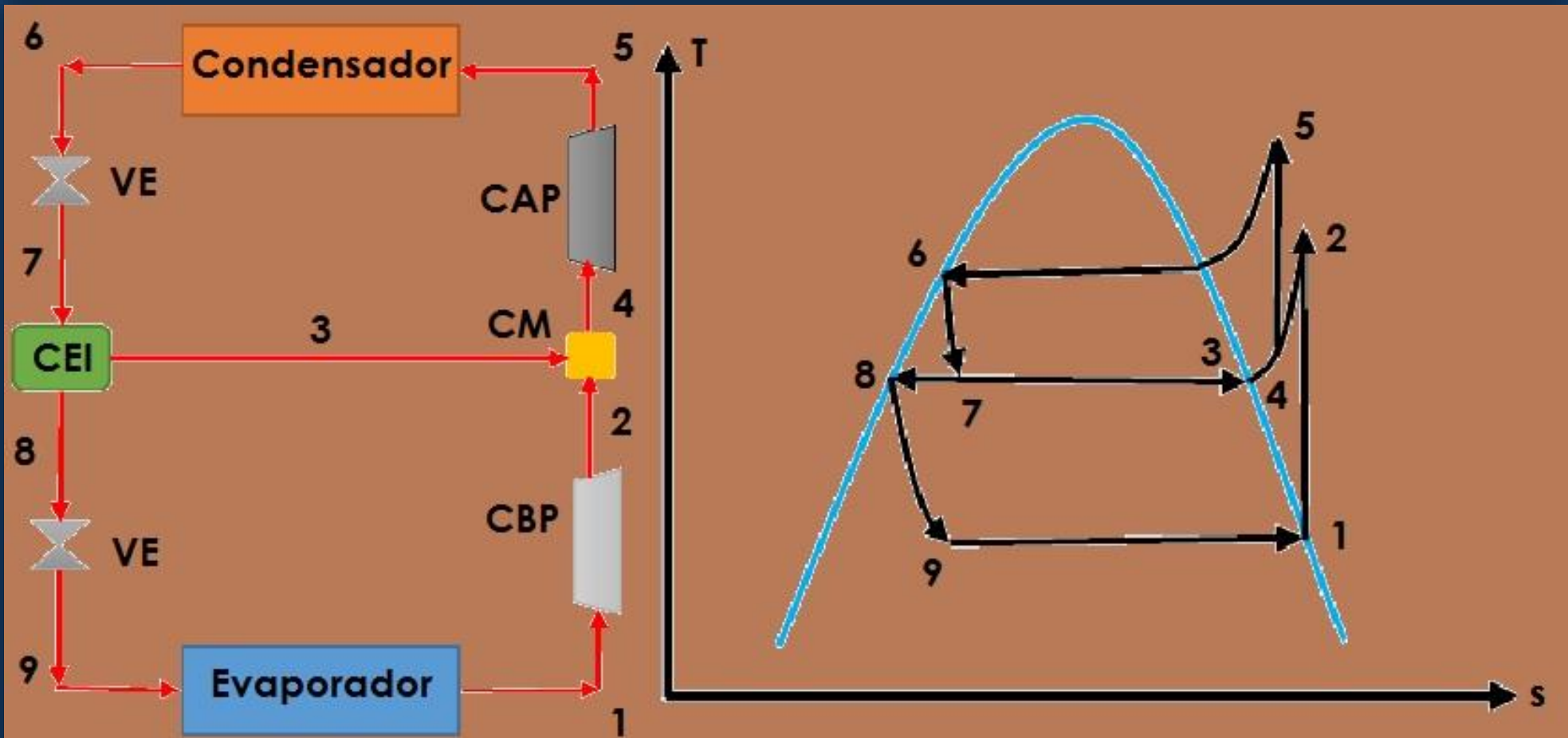
$$\frac{\dot{m}_s}{\dot{m}_i} = \frac{(h_7 - h_2)}{(h_3 - h_6)}$$



# Sistemas de refrigeración por compresión de múltiples etapas

- Cuando se utiliza el mismo fluido en todo el sistema de refrigeración, el intercambiador de calor entre las etapas se sustituye por cámaras de mezclado (CM) y de evaporación instantánea (CEI).
- El refrigerante líquido pasa a través de la primera válvula de expansión (VE) hasta la presión de la CEI.
- Parte del líquido se evapora y se mezcla con el vapor sobrecalentado del compresor de baja presión.
- El líquido saturado se expande a través de la segunda VE hacia el evaporador.





VE: Válvula de expansión; CEI: Cámara de evaporación instantánea;  
 CAP: Compresor de alta presión; CBP: Compresor de baja presión;  
 CM: Cámara de mezclado.



# Ciclo real de refrigeración por compresión de vapor (Cengel & Boles, 2009)

- Dos fuentes comunes de irreversibilidad en un sistema de refrigeración por compresión de vapor son la fricción del fluido (causa caídas de presión) y la transferencia de calor hacia o desde los alrededores.
- No es posible controlar con tanta precisión el estado del refrigerante al salir del evaporador y entrar al compresor como vapor saturado. El refrigerante se sobrecalienta ligeramente para asegurar que se evapore por completo cuando entra al compresor.
- La línea que conecta al evaporador con el compresor suele ser larga ocasionando caída de presión por la fricción del fluido y transferencia de calor de los alrededores al refrigerante. El incremento en el volumen específico aumenta los requerimientos de entrada de potencia al compresor.

- El proceso de compresión real incluye efectos de fricción que incrementan la entropía y la transferencia de calor. El refrigerante debe enfriarse durante el proceso de compresión siempre que sea práctico y económico hacerlo.
- La inevitable caída de presión en el condensador, así como en las líneas que lo conectan con el compresor y la válvula de estrangulamiento provocan que el refrigerante no salga del condensador como líquido saturado a la presión de salida del compresor. En consecuencia, el refrigerante se subenfía antes de que entre a la válvula de estrangulamiento.
- La válvula de estrangulamiento y el evaporador se localizan muy cerca el uno del otro, de modo que la caída de presión en la línea de conexión es despreciable.

# Bibliografía

- Balmer, R. T. (2011). *Modern Engineering Thermodynamics*. Burlington USA: Elsevier Inc.
- Burghardt, M. D., & Harbach, J. A. (1993). *Engineering Thermodynamics*. New York: HarperCollins College Publishers.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2009). *Termodinámica*. México: McGraw-Hill.
- Emerson. (2013). *Document*. Obtenido de Emerson climate technologies: <http://www.emersonclimate.com>
- Instituto\_Tecnológico\_de\_Minatitlán. (28 de Octubre de 2013). *El refrigerador doméstico*. Obtenido de Revista cero grados Celcius: <https://www.0grados.com>
- Pita, E. G. (1997). *Acondicionamiento de aire. Principios y sistemas*. México: CECSA.

- Pita, E. G. (2001). Principios y sistemas de refrigeración. México: Limusa.
- Reynolds, W. C., & Perkins, H. C. (1980). Ingeniería termodinámica. México: McGraw-Hill.
- Trento, U. d. (28 de Diciembre de 2014). Il (Non) Carnevale Della Fisica #4 . Obtenido de Scientificando: <http://www.tutto-scienze.org>
- Wu, C. (2007). Thermodynamics and heat powered cycles: a cognitive engineering approach. New York: Nova Science Publishers, Inc.