

Conocimientos básicos

Ciclos

Los **ciclos termodinámicos** se utilizan en la técnica para describir la conversión de energía térmica en energía mecánica y al contrario.

En este proceso, un fluido atraviesa periódicamente distintos **cambios de estado** como compresión y expansión, evaporación y condensación o calentamiento y enfriamiento. En un ciclo el fluido vuelve a alcanzar el estado de partida tras pasar por los diferentes cambios de estado y se puede volver a utilizar.

Se pueden utilizar como fluidos sustancias que permanezcan en estado gaseoso continuamente durante el ciclo como el aire o el helio, entre otros, o bien sustancias que cambien de estado durante el ciclo (cambio de estado) como el agua, el amoníaco, los hidrofluorocarburos o CO_2 .

Representación de los ciclos en diagramas de estado

Un ciclo termodinámico se puede representar visualmente en diagramas de estado. Los diagramas de estado que se emplean con más frecuencia son los siguientes:

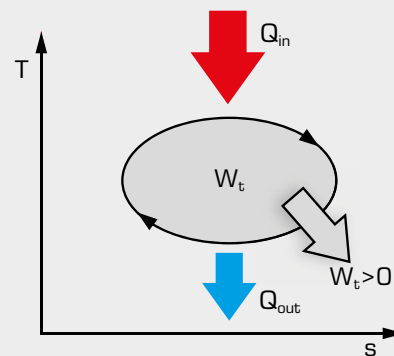
- **diagrama p-v:** presión **p** en función del volumen específico **v**, apropiado para representar la potencia mecánica. Se utiliza en compresores alternativos y motores de combustión interna con un fluido de trabajo puramente gaseoso. En él pueden observarse procesos cíclicos, ya que el cambio de volumen y el tiempo están fuertemente relacionados. El área comprendida es una medida para el trabajo mecánico realizado, que se denomina trabajo útil técnico.
- **diagrama h-s:** entalpía **h** en función de la entropía **s**, para representar los procesos en turbinas de vapor. Se utiliza con vapor de agua y es una buena herramienta para diseñar turbinas de vapor.
- **diagrama log p-h:** representación logarítmica de la presión **p** en función de la entalpía específica **h**. Es apropiado especialmente para procesos de enfriamiento en la refrigeración,

Como un cambio de estado implica una cantidad de energía superior a la necesaria para convertir con una simple fase de calentamiento o enfriamiento, los procesos con cambio de estado ofrecen una mayor densidad de energía y requieren menos diferencias de temperatura.

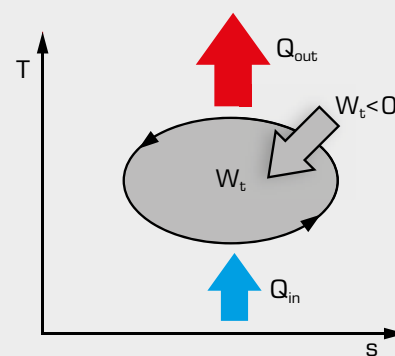
Los ciclos pueden utilizarse en máquinas motrices o generatrices. Las máquinas motrices transforman energía térmica en energía mecánica, p.ej., en una central térmica de vapor. En las máquinas generatrices se introduce energía mecánica, que se convierte en energía térmica, como es el caso de en una instalación frigorífica de compresión.

porque aquí los flujos térmicos se pueden leer directamente como segmentos horizontales del diagrama. Para la escala de presión vertical se utiliza una división logarítmica, ya que con ella se pueden representar visiblemente las curvas límite de los estados.

- **diagrama T-s:** temperatura **T** en función de la entropía **s**. Apropiado para representar las relaciones termodinámicas. El sentido de rotación del ciclo indica si se trata de una máquina motriz o una máquina generatriz. El **ciclo hacia la derecha** (en el sentido de las agujas del reloj) indica que se trata de una máquina motriz y el **ciclo hacia la izquierda** (en sentido contrario a las agujas del reloj) señala que se trata de una máquina generatriz. En el ciclo hacia la derecha se absorbe calor a un alto nivel de temperatura y se emite a baja temperatura. En el ciclo hacia la izquierda, por el contrario, se absorbe calor a baja temperatura y se emite a alta temperatura. El ciclo hacia la izquierda accionado es apropiado como bomba de calor o máquina frigorífica. El área comprendida es una medida para el trabajo útil técnico, como en el diagrama p-v.



Ciclo hacia la derecha: máquina motriz



Ciclo hacia la izquierda: máquina generatriz

W_t trabajo útil técnico, Q energía térmica, T temperatura, s entropía

Ejemplos de ciclos termodinámicos

Tipo	Máquina motriz/generatriz	Fluido de trabajo	Estado físico del refrigerante
Central térmica de vapor	máquina motriz	agua	líquido-gaseoso
Motor de combustión interna	máquina motriz	aire / gas de combustión	gaseoso
Turbina de gas	máquina motriz	aire / gas de combustión	gaseoso
Motor Stirling	máquina motriz	aire, helio	gaseoso
Central energética OCR (ciclo orgánico de Rankine)	máquina motriz	hidrofluorocarburos, hidrocarburos	líquido-gaseoso
Máquina frigorífica	máquina generatriz	hidrofluorocarburos, hidrocarburos, amoníaco, etc.	líquido-gaseoso
Máquina frigorífica Stirling	máquina generatriz	aire, helio	gaseoso

A continuación se presentan algunos ciclos técnicos relevantes con sus diagramas.

El ciclo de Carnot

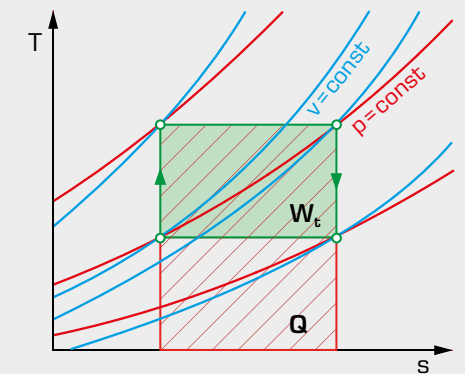
En el diagrama T-s, se representa el ciclo de Carnot forma un rectángulo. La superficie del rectángulo es una medida para el trabajo útil técnico W_t . La superficie entre el cero de temperatura y la temperatura máxima del ciclo es una medida para la energía térmica consumida Q . Con ella se calcula el rendimiento η del ciclo de Carnot:

$$\eta = \frac{W_t}{Q} = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{T_{\max}}$$

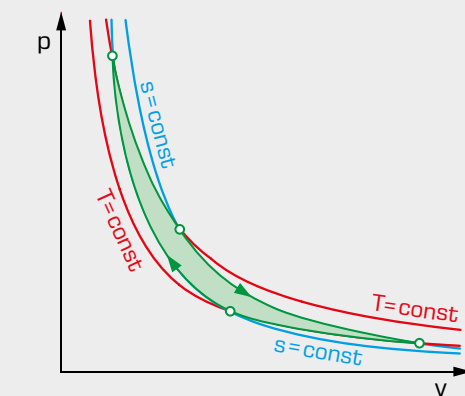
El rendimiento máximo de un ciclo termodinámico solo depende de las temperaturas absolutas máxima y mínima T_{\max} , T_{\min} . El ciclo de Carnot ofrece información sobre la calidad de un ciclo técnico cualquiera. Se reconoce además que cada proceso termodinámico requiere una diferencia de temperatura para realizar trabajo. El rendimiento del ciclo de Carnot es el rendimiento teórico máximo posible de un ciclo.

Los cambios de estado necesarios para el ciclo de Carnot, como la compresión o la expansión isotérmica e isentrópica, son difíciles de realizar técnicamente. Por ello, a pesar de su alto rendimiento, este ciclo solo es de interés teórico.

Otro inconveniente decisivo del ciclo de Carnot se representa en el diagrama p-v contiguo. A pesar de las grandes diferencias de presión y volumen, el contenido de la superficie del diagrama y el trabajo mecánico realizado son muy reducidos. En la realización del ciclo de Carnot, esto se traduce en una máquina grande y pesada con escasa potencia.



Ciclo de Carnot en el diagrama T-s



Ciclo de Carnot en el diagrama p-v

W_t trabajo útil técnico, Q energía térmica, T temperatura, p presión, v volumen específico, s entropía

Conocimientos básicos
Ciclos

Central térmica de vapor

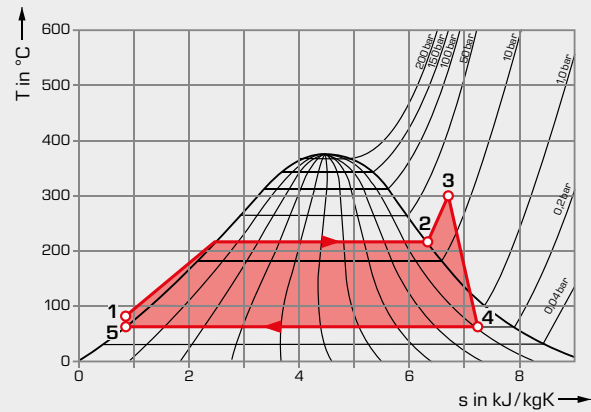
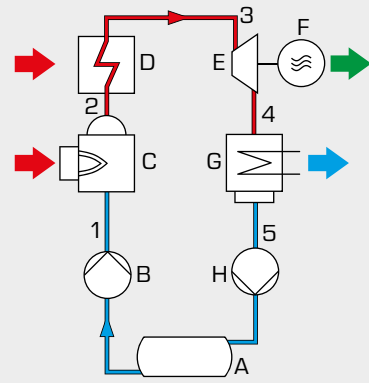


Diagrama T-s de una central térmica de vapor

El diagrama T-s muestra el ciclo de Clausius-Rankine de una central térmica de vapor. El fluido de trabajo es agua o vapor de agua.

- 1 – 2 el agua se calienta **isobáricamente** y evapora en la caldera de vapor a una presión de 22bar
- 2 – 3 sobrecalentamiento **isobárico** del vapor a 300°C
- 3 – 4 el vapor se expande **politrópicamente** en la turbina de vapor a una presión de 0,2bar y emite energía mecánica
- Punto 4** área del vapor húmedo: el contenido de vapor es solo del 90%
- 4 – 5 condensación del vapor
- 5 – 1 aumento de presión a la presión de la caldera a través de la bomba de condensado y agua de alimentación, el ciclo se cierra



Esquema de proceso de la central térmica de vapor

A depósito de agua de alimentación, B bomba de agua de alimentación, C caldera de vapor, D sobrecalentador, E turbina de vapor, F generador, G condensador, H bomba de condensado;

- energía térmica, baja temperatura,
- energía térmica, alta temperatura,
- energía mecánica/eléctrica

Planta de turbina de gas

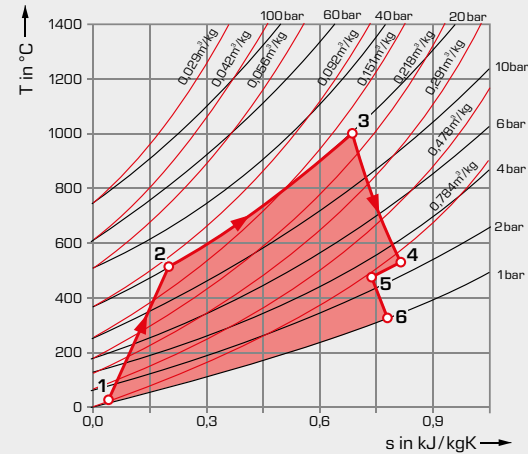
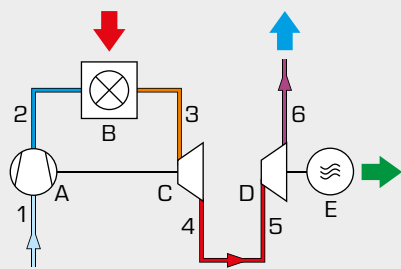


Diagrama T-s de una planta de turbina de gas

El diagrama T-s muestra un ciclo de turbina de gas con expansión de dos etapas en una instalación de 2 árboles.

- 1 – 2 el aire es comprimido **politrópicamente** a una presión de 20bar; el aire tiene una temperatura de 500°C a la salida del compresor
- 2 – 3 calentamiento **isobárico** del aire a la temperatura de la entrada de la turbina de alta presión a 1000°C mediante la inyección y combustión de combustible
- 3 – 4 descompresión **politrópica** en la turbina de alta presión que acciona el compresor
- Punto 5** en la transición a la turbina de potencia el gas se enfría un poco **isobáricamente**
- 5 – 6 la segunda descompresión en la turbina de potencia: el gas de escape empleado sale y no se vuelve a alimentar al ciclo. Por lo tanto, se habla de un ciclo de turbina de gas abierto; el ambiente sirve aquí para emitir el calor de proceso



Esquema de proceso de la planta de turbina de gas

A compresor, B cámara de combustión, C turbina de alta presión, D turbina de potencia, E generador;

- energía térmica, baja temperatura,
- energía térmica, alta temperatura,
- gas de escape, energía mecánica/eléctrica

Motor de combustión interna

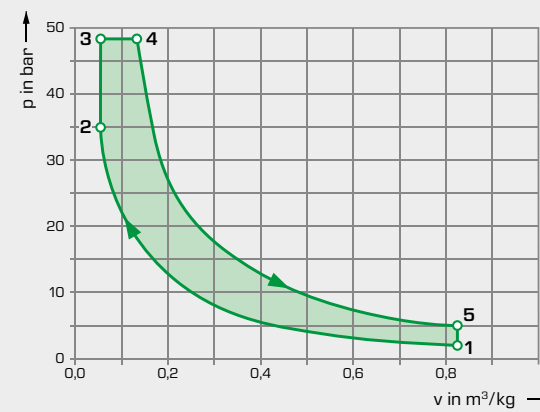


Diagrama p-v de motor de combustión interna

El diagrama p-v muestra el ciclo de Seiliger de un motor de combustión interna. En el motor de combustión interna todos los cambios de estado se producen consecutivamente en el mismo espacio, en el cilindro.

- 1 – 2 el gas se comprime **politrópicamente**
- Punto 2** encendido con la siguiente combustión del combustible

Subdivisión idealizada de la combustión
 2 – 3 porción **isocórica** de la combustión
 3 – 4 porción **isobárica** de la combustión

- 4 – 5 expansión **politrópica (isentrópica)** con rendimiento efectivo
- 5 – 1 descompresión **isocórica** y cambio de carga

Esto sucede en el motor de dos tiempos sin carrera adicional; en el motor de cuatro tiempos se suma la carrera de escape y aspiración. Al igual que el ciclo de la turbina de gas, el ciclo de Seiliger es un ciclo abierto.

En el caso de un motor ideal, el ciclo de Seiliger es un ciclo de comparación o un ciclo ideal. El proceso de trabajo real se muestra en el diagrama indicador.

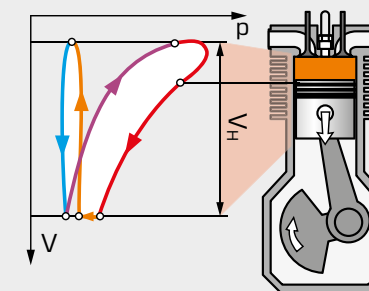


Diagrama indicador de un motor de 4 tiempos

- p presión, V volumen, V_H cilindrada;
- aspiración, compresión, trabajo, escape

Instalación frigorífica

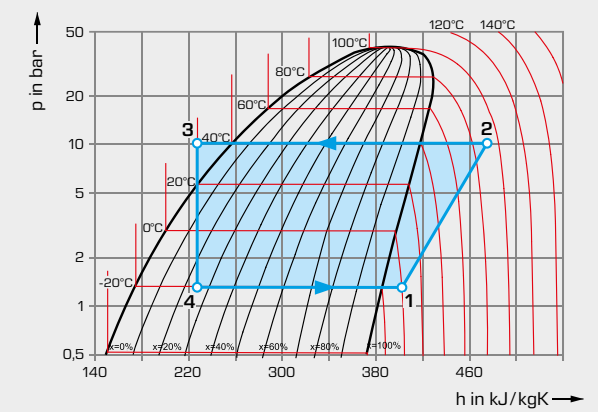
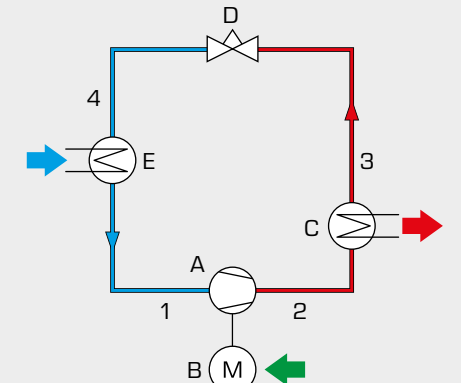


Diagrama log p-h de instalación frigorífica

En este diagrama log p-h se representa un ciclo frigorífico. El fluido de trabajo es el refrigerante hidrofluorocarburo R134a.

- 1 – 2 compresión **politrópica**
- 2 – 3 refrigeración y condensación **isobáricas** bajo disipación de calor
- 3 – 4 expansión **isentálica** en la presión de evaporación
- 4 – 1 evaporación **isobárica** bajo absorción de calor

Tras un sobrecalentamiento del vapor del refrigerante, el compresor lo vuelve a aspirar y comprimir en el **punto 1**. De este modo finaliza el ciclo.



Esquema de proceso de una instalación frigorífica

A compresor, B motor de accionamiento, C condensador, D válvula de expansión, E evaporador;

- energía térmica, baja temperatura,
- energía térmica, alta temperatura,
- energía mecánica/eléctrica