

## TERMODINAMIKA. 8\_ASTEA\_TEORIA

**Lotura:** 1. Printzipioak planteatzen dituen hutsuneak.

**Helburua:** 2. Printzipioaren justifikapena.

- **1. Printzipioaren sistesia:**

- Sistema itxi eta irekien eta ingurunearen arteko energia balantzeak egin ditugu.
- Planteatutako energia balantzea betetzen bada, 1. Printzipioak esandakoa betetzen da, hau da, energia kontserbatzen dela.

- **1. Printzipioaren muga:**

- 1. Printzipioak ez dizkio sistema batek jasaten dituen energia sartu irtenei mugarik jartzen.

Berezkoak, naturalak edo espontaneoak diren energia trukeak mugatu behar ditugu. Horrela esan dezakegu:

“Bero transferentziak  $T$  altuena daukan gorputzetik  $T$  baxuena daukan gorputzera emango dira”.

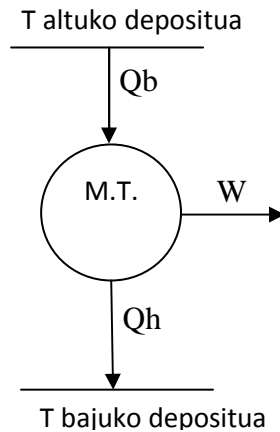
- **Definizioak:**

**Bero biltokia:**  $T$  aldaketarik jasan gabe, beroa bota edo jasotzeko gaitasun infinitua daukan gorputz ideala. Naturan bero biltokiaren portamoldera hurbiltzen diren gorputzak aurkitu ditzazkegu. Masa haundia daukaten gorputzak dira, itsasoa, lurra, lakuak, errekek, eguzkia, etb. Gizakiak eraikitakoak ere badaude, galdarak esaterako. Grafikoki lerro horizontal bat bezela adierazten dira.

**Makina termikoa:**  $T$  ezberdinetan dauden bero biltokien artean ziklo termodinamikoak betetzen dituen makina. Ezin da lana lortu bero biltoki bakarrarekin soilik energia trukatzeko badugu.

## TERMODINAMIKA. 8\_ASTEA\_TEORIA

Motor termikoaren eskema:



### Testuingurua

XVIII. mendean, Nicolas Sadi Carnot (1796-1832) ingeniari frantsesa bizi izan zen garaian, lurrin makinak sekulako garrantzia zuten. Erregai baten (ikatz edo egurra) erreketaren ondorioz beroa lortzen zen, ur likidoaren, ur lurrunera arteko fase aldaketa gauzatzeko. Horrela, lurrunaren energia termikoa, energia mekanikoan (mugimendua) eraldatzen zen mekanismo (makina termikoa) baten bitartez. Eraldaketa energetikoaren bitartez lortzen zen energia mekanikoa lan asko errazten zituen, langileen behar fisikoak txikiagotuz eta garapen industrial bultzatu zuen.

Era berean, makina termikoen garapenak, termodinamikaren garapena bultzatu zuen nahiz eta Carnot ez zen hortaz jabetu. Carnot-ek pentsatu zuen, makina termikoen teknologia menderatzeak Frantzia lidergo ekonomiko eta sozialera eramango zuela, momento hartan aurkari zen Ingalaterrarekiko. Bere hobetzeko nahiak, ziklo ideal bat burutzera eramen zuen. Ziklo hau Carnot-en zikloa bezela ezagutzen da.

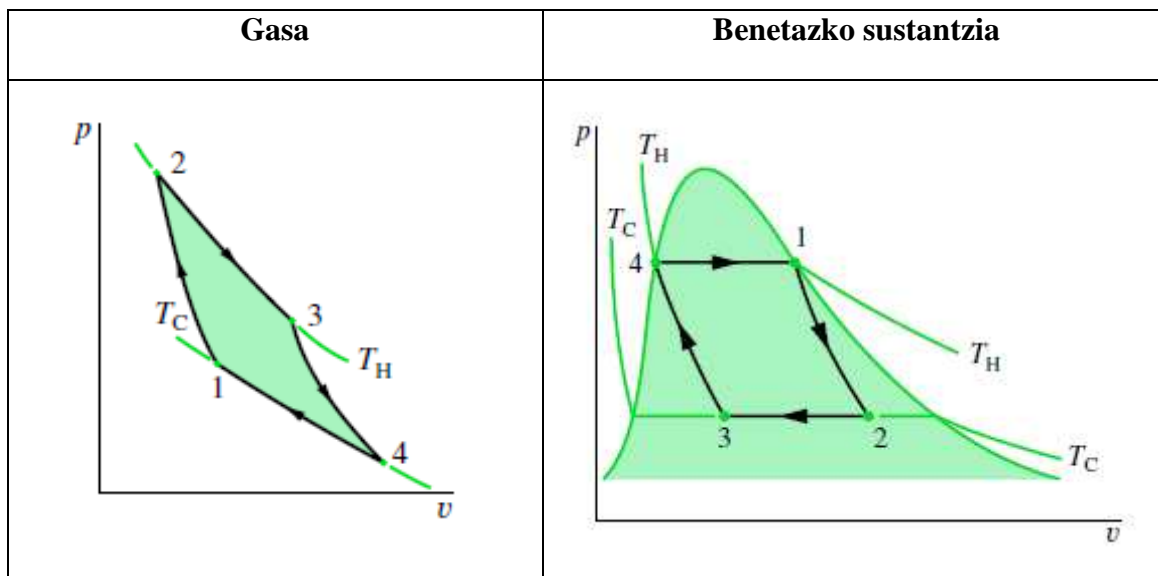
Carnot-en zikloa, ziklo termiko itzulgarria da. Lau prozesuz osatuta dago:

- Bero sarrera (irabazia) eta hedapen isotermoda.
- Hedapen adiabatikoa.
- Bero irteera (galera) eta konpresio isotermikoa.
- Konpresio adiabatikoa.

Bero biltokiekiko bero irabazi eta galerak, temperatura jauzi infinitesimalekin egiten da.

## TERMODINAMIKA. 8\_ASTEA\_TEORIA

Carnot zikloaren irudikapena P-v diagramaren bitartez:



### Carnot-en korolarioak.

Tenperatura jauzi jakin baterako, Carnot-en zikloa betetzen duen motor termiko baten errendimendua, motor erreal baten errendimendua baino altuagoa izango da beti.

Tenperatura jauzi jakin baterako, Carnot-en zikloa betetzen duen motor termiko baten errendimendua, substantzia edozein izanik, beti berdina da. Carnot-en makina baten errendimendua, tenperaturen menpekota da soilik. \* Ideia hau abiapuntutzat hartuz, Kelvin tenperatura termodinamikoaren eskala garatzen da. Eskala honek, ez dauka substantzia baten propietateekiko menpekotasunik.

Carnot- en zikloa betetzen duen makina, makina errealeen ispilua da. Makina erreal bat idealetik zenbat urruntzen den erakusten du. Motor termiko baten errendimendua, hurrengo espresioaren bitartez kalkulatzen da:

$$\eta_{Carnot} = \frac{W}{Q_B} = \frac{Q_B - Q_H}{Q_B} = 1 - \frac{T_H}{T_B}$$

Joule, Kelvin eta Clausius zientzialariek besteak beste, Carnot-en lanari forma eman zioten; termodinamika zientziaren alor bat bezela garatuz.

## TERMODINAMIKA. 8\_ASTEA\_TEORIA

### Clausius- en ekarpena 2. Printzipiorako

Carnot-en makina baten errendimendua abiapuntutzat hartuz, hurrengo berdintza adierazten da:

$$\frac{T_B - T_H}{T_B} = \frac{Q_B - Q_H}{Q_B}; \frac{Q_B}{T_B} = \frac{Q_H}{T_H}; \frac{Q_B}{T_B} - \frac{Q_H}{T_H} = 0$$

Ziklo bat betetzen denez, modu infinitesimalean adierazten da:

$$\oint \frac{\delta Q}{T} = 0$$

Ziklo bateko edozein egoera (1 egoera esaterako) kontsideratuz, egoerako aldagai baten aldaketa zikloa batetzean (1 egoerara bueltatzean) nulua da. Beraz, goian adierazitako espresioa, egoerako aldagai termodinamiko berri bati dagokio, entropia deritzona.

Aldagaia	Sinboloa	Unitatea	Aldagai mota
<b>Entropia</b>	S	J/K	Egoera
Entropia unitate espezifikotan edo masa unitateko	s	J/kgK	

Carnot- en ziklo baterako:

$$\oint \frac{\delta Q}{T} = 0$$

1-etik 2-ra definitutako prozesu itzulgarri baterako:

$$\int_1^2 \frac{\delta Q}{T} = \int_1^2 dS = S_2 - S_1$$

Prozesu baterako, bero irabazia badago, entropia aldaketa positiboa izango da. Kontrara, bero galera badago, entropia aldaketa negatiboa izango da. Prozesu adiabatiko baterako entropia aldaketa nulua izango da.

## TERMODINAMIKA. 8\_ASTEA\_TEORIA

**Entropia aldaketa kalkulua, sistema itxi batean ematen diren prozesu barne itzulgarrietarako:**

1. Printzipioan entropia gehituz:

$$\delta Q_{itzul.} = dU + PdV; TdS = dU + PdV$$

$$dH = dU + d(PV); dH = dU + PdV + VdP; dH - VdP = dU + PdV; \delta Q_{itzul.} = dH - VdP$$

- Gas idealen kasurako:

$$s_2 - s_1 = c_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1} \left( \frac{J}{KgK} \right)$$

$$s_2 - s_1 = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1} \left( \frac{J}{KgK} \right)$$

- Sustantzia errealetarako:

Lurrun eta lurrun bustietarako, taulak erabiltzen dira. Lurrun bustiaren kasurako titulua kalkulatzeko da.

Likido egoerarako, presioaren balioa tauletan ageri ez den kasurako, hurrengo hurbilketa erabiliko dugu:

$$s(T, P) \cong s'(T)$$

## TERMODINAMIKA. 8\_ASTEA\_TEORIA

### Clausius- en ezberdintasuna

Carnot-en makina baten eta benetazko makina baten arteko errendimenduen arteko konparaketa eginez:

$$\frac{T_B - T_H}{T_B} > \frac{Q_B - Q_H}{Q_B}; 1 - \frac{T_H}{T_B} > 1 - \frac{Q_H}{Q_B}; \frac{Q_H}{T_H} - \frac{Q_B}{T_B} > 0;$$

$$\frac{Q_B}{T_B} - \frac{Q_H}{T_H} < 0$$

Ziklo bat betetzen denez, Clausius- en ezberdintasuna bezela ezagutzen den espresioa modu infinitesimalean adierazita:

$$\oint \frac{\delta Q}{T} < 0$$

**\*Oharra:** Clausius- en ezberdintasuna, biltoki, prozesu eta jariakinetara zabaltzen da.

Prozesu itzulgarriak	Prozesu itzulezinak
$dS = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}; \Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}$	$\Delta S = S_2 - S_1 > \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}$ $\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + S_g$ $S_g = \text{sortutako entropia}$

### Unibertsoaren entropia hazkundearen printzipioa:

Unibertsoa: Sistema isolatua da, (Q=0 y W=0) beraz,

$$\Delta S_{\text{unibertsoa}} \begin{cases} > 0 \text{ Prozesu itzulezina} \\ = 0 \text{ Prozesu itzulgarria} \\ < 0 \text{ Ezinezko prozesua} \end{cases}$$

Errealitatean ematen diren prozesuak itzulezinak izanik, entropia sorrera etengabea ematen da. Horrela, **termodinamikaren 2. Printzipioa da gertakarien norantza definitzeko zientziak duen printzipio bakarra.**

## TERMODINAMIKA. 8\_ASTEA\_TEORIA

Prozesuen berezko izaeran dago 2. Printzipioaren justifikapena. Prozesuak:

- Itzulgarriak (idealak).
- Itzulezinak (errealak). Energiaren kalitatearen degradazioa dakartzate, hau da, entropia sorrera. Itzulezintasunaren arrazoiak asko dira: marruskadura, biskositatea, T jauziak, efektu disipatiboak prozesu ez kuasiestatikoak eta abar. Itzulezintasunak, barne itzulezintasun eta kanpo itzulezintasun bezela sailkatzen dira.

Entropia sorrerak, energiaren degradazioaren neurria ematen du.

## TERMODINAMIKA. 8\_ASTEA\_TEORIA

### Makina termikoak:

Makina termiko bat, bi bero biltokiren artean zikloak burutzen duen makina da. Motor eta alderantziko makina bezela sailkatzen dira:

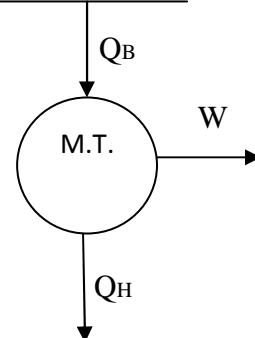
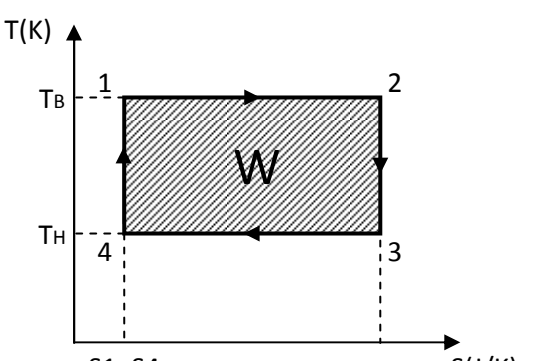
- **Motor termikoa:** Temperatura altuan dagoen bero biltokiko beroa, lanean eraldatzen duen makina.
- **Alderantzizko makina:** Temperatura bajaran dagoen bero biltokitik beroa hartu eta lan sarrera baten bitartez, temperatura altuan dagoen bero biltokian beroa uzten duen makina. Bi mota bereizten dira:
  - Hozgailuak.
  - Bero ponpak.

Hozgailuen eta bero ponpen arteko ezberdintasuna helburuan dago. Hozgailuaren helburua bero biltoki hotza hotz mantentzearena izango da. Bero ponparen helburua bero biltoki beroa bero mantentzearena izango da.

## TERMODINAMIKA. 8\_ASTEA\_TEORIA

### - 2.Printzipiorako Kelvin- Planck-en adierazpena:

“Ezinezkoa da makina termiko batek bero biltokitik hartzen duen bero guztia lanean bihurtzea.”

Makina eta biltokien arteko energia hartuemanak.	<b>T-s diagrama</b> Kasu ideala: Makinak Carnoten zikloak deskribatzen ditu eta ez dago makina eta biltokien arteko tenperatura jauzirik. Zikloaren tenperatura maximoa $T_B$ da eta minimoa $T_H$ da; biltokien tenperaturekin bat datorrena. Beraz, $\sum \Delta S_{unibertsoa} = 0$ . Ez dago, kanpo ez barne itzulezintasunik. Zikloa guztiz itzulgarria dela esaten da.
<p><math>T=T_B</math> altuko depositua</p>  <p><math>T=T_H</math> bajuko depositua</p>	

Carnot-en zikloa deskribatzen duen motor batentzat eta gainera kanpo itzulezintasunik ez duena, ( $\sum \Delta S_{unibertsoa} = 0$ ), errendimendu maximoa lortzen da. Bere kalkulua ondokoa izanik:

$$\begin{aligned}
 |W| &= |Q_B| - |Q_H| = |T_B(S_2 - S_1)| - |T_H(S_4 - S_3)| = |T_B\Delta S| - |T_H\Delta S| \\
 \eta_{Carnot} &= \frac{|W|}{|Q_B|} = \frac{|Q_B| - |Q_H|}{|Q_B|} = \frac{|T_B\Delta S| - |T_H\Delta S|}{|T_B\Delta S|} = 1 - \frac{T_H}{T_B} < 1 \text{ edo } \%100
 \end{aligned}$$

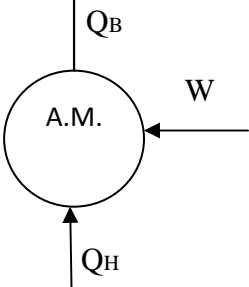
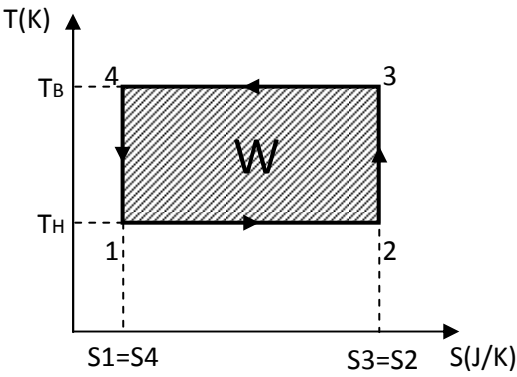
Motor erreal baten kasurako non kanpo eta barne itzulezintasunak ematen diren ( $\sum \Delta S_{unibertsoa} > 0$ ):

$$\begin{aligned}
 |W| &= |Q_B| - |Q_H| \\
 \eta &= \frac{|W|}{|Q_B|} = \frac{|Q_B| - |Q_H|}{|Q_B|} = 1 - \frac{|Q_H|}{|Q_B|} < 1 \text{ edo } \%100
 \end{aligned}$$

## TERMODINAMIKA. 8\_ASTEA\_TEORIA

### - 2. Printzipiorako Clausius-en adierazpena:

“Ezinezkoa da T bajuko bero biltokitik beroa hartu eta T altuko bero biltoki batera eramatea inguruan aldaketarik eragin gabe.”

	T-s diagrama
<p>Makina eta biltokien arteko energia hartuemanak.</p>	<p>Kasu ideala:</p> <p>Makinak Carnoten zikloak deskribatzen ditu eta ez dago makina eta biltokien arteko tenperatura jauzirik. Zikloaren tenperatura maximoa <math>T_B</math> da eta minimoa <math>T_H</math> da; biltokien tenperaturekin bat datorrena.</p> <p>Beraz, <math>\sum \Delta S_{unibertsoa} = 0</math>. Ez dago, kanpo ez barne itzulezintasunik. Zikloa guztiz itzulgarria dela esaten da.</p>
<p>T=<math>T_B</math> altuko depositua</p>  <p>T=<math>T_H</math> bajuko depositua</p>	

Carnot- en zikloa deskribatzen duen alderantzizko makina batentzat eta gainera kanpo itzulezintasunik ez badago, ( $\sum \Delta S_{unibertsoa} = 0$ ), COP maximoa kalkulatzen da. Bere kalkulua ondokoa izanik:

$$|W| = |Q_B| - |Q_H| = |T_B(S_4 - S_3)| - |T_H(S_2 - S_1)| = |T_B \Delta S| - |T_H \Delta S|$$

$$COP_{Carnot,H} = \frac{|Q_H|}{|W|} = \frac{|Q_H|}{|Q_B| - |Q_H|} = \frac{|T_H \Delta S|}{|T_B \Delta S| - |T_H \Delta S|} = \frac{T_H}{T_B - T_H} < 1 \text{ Hozgailua.}$$

$$COP_{Carnot,BP} = \frac{|Q_B|}{|W|} = \frac{|Q_B|}{|Q_B| - |Q_H|} = \frac{|T_B \Delta S|}{|T_B \Delta S| - |T_H \Delta S|} = \frac{T_B}{T_B - T_H} > 1 \text{ Bero ponpa.}$$

## TERMODINAMIKA. 8\_ASTEA\_TEORIA

Alderantzizko makina batentzat, barne eta kanpo itzulezintasunak dituen, ( $\sum \Delta S_{unibertsoa} > 0$ ):

$$\begin{aligned}
 |W| &= |Q_B| - |Q_H| \\
 COP_H &= \frac{|Q_H|}{|W|} = \frac{|Q_H|}{|Q_B| - |Q_H|} < 1 \text{ Hozgailua.} \\
 COP_{BP} &= \frac{|Q_B|}{|W|} = \frac{|Q_B|}{|Q_B| - |Q_H|} > 1 \text{ Bero ponpa.}
 \end{aligned}$$

### Energia kalitateak eta efizientzia energetikoa:

Energia kalitateak daude. Batetik,  $W$  (energia mekanikoa eta energia elektrikoa), kalitate haundiko energia. “Fabrikatu” behar den energia eta  $Q$ , kalitate baxuko energia. Bestera esanda,  $W$  edukita, energia mota hau  $Q$  oso osorik eraldatu dezakegu baina ez da berdina gertatzen  $Q$ - rekin.  $Q$  guztia ezin dugu  $W$ - en eraldatu, prozesuek itzulezintasunak dakartzatelako.

Beraz efizientzia energetikoaren zentzu guztia ulertu dezakegu. Batetik, energia eraldaketa eta trukeak definitzen dituzten printzipioak ezagutzen ditugu eta bestetik badakigu, energia degradatu egiten dela eta energia modu “ez erabilgarrian” bihurtzen dela.