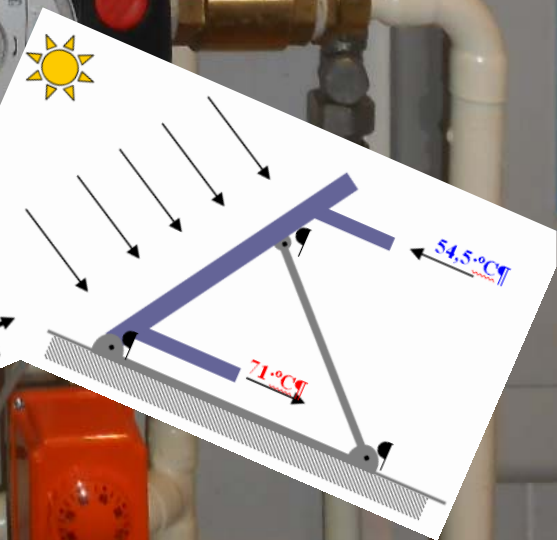
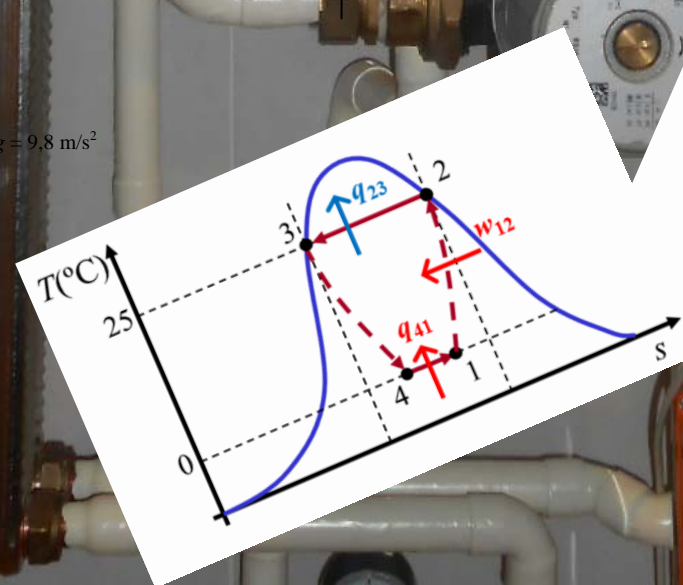
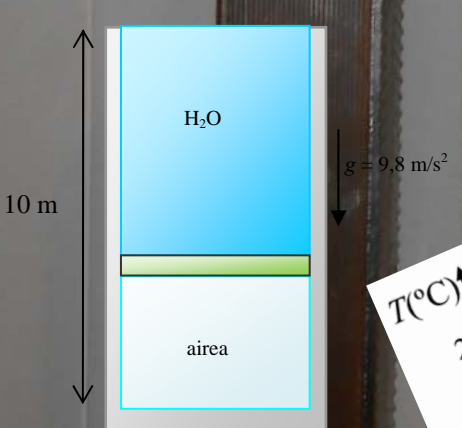
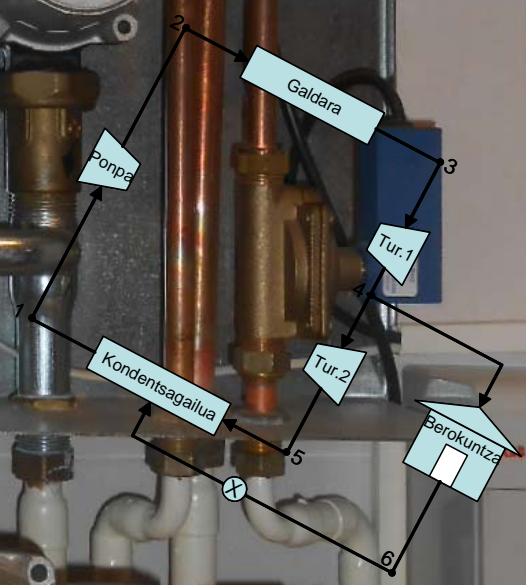
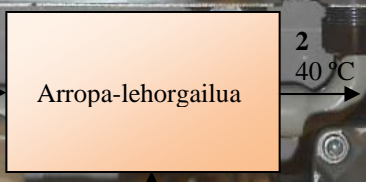
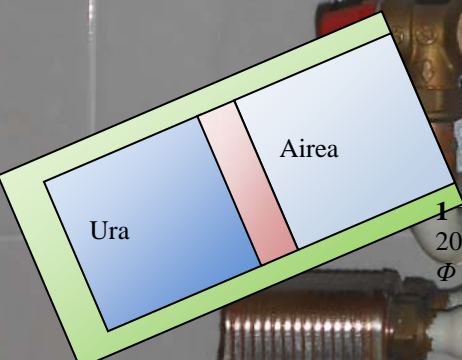
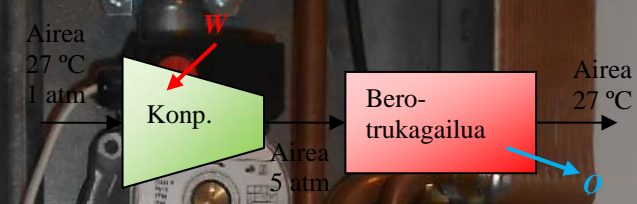
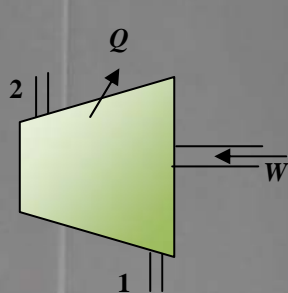
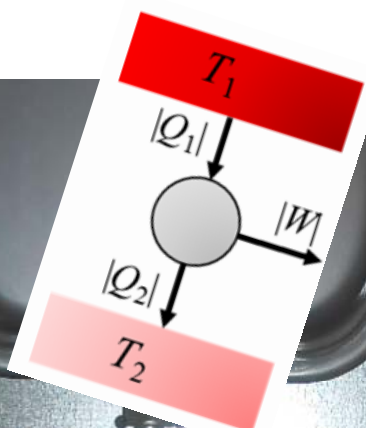


TERMODINAMIKAKO ARIKETAK



AITZINSOLASA

Ikasketa teknikoetan ariketak oso garrantzitsuak dira ezagutza teorikoak finkatu, eta beraien erabilpen egokia ziurtatzeko. Dokumentu honetan ageri diren Termodinamikako ariketak Mondragon Unibertsitateko Goi Eskola Politeknikoan erabili izan dira urteetan zehar. Batzuk, klaseko ariketa-zerrendetan egon dira; eta beste batzuk, ebaluatzeko erabili ditugu azterketetan edo bestelako frogetan. Ariketa hauen prestaketan irakasle asko aritu izan da urte luze hauetan zehar, alfabetikoki ordenatuak honako hauek izan dira: E. Apiñaniz, X. Arrasate, T. Díaz, K. Gandarias, J. I. Jimeno, Z. Oruna, E. Zarate eta ni neu.

Ariketa batzuk originalak dira, hau da, guk geuk prestatutakoak dira. Beste batzuk, aldiz, hainbat iturrietatik jaso izan ditugu, eta askotan moldatu izan ditugu egokitzeko. Ariketen ulermena errazteko hainbat irudi eta grafiko erabili izan dugu.

Dokumentuaren kapitulu bakoitzak hiru atal ditu. Lehenengo eta behin, ariketak egiteko beharrezkoak diren oinarritzko ezagutza teorikoen ekuazioak ageri dira. Hauek azalpen berezirik gabe ageri dira. Dokumentu honen helburua ez da termodinamikako testuliburu bat izatea. Hortaz, bibliografia atalean ageri diren Termodinamikako liburuetara jotzea gomendatzen dugu. Kapituluaren bigarren atalean ebatzitako ariketak azaltzen dira, ezagutza teorikoak praktikan nola erabili behar diren ikusteko adibide modura jarrita daude. Azkenik, emaitzak dituzten ariketak ageri dira, norberak bere kabuz lantzeko.

Ariketak prestatu ditugun irakasleok dokumentu hau erabilgarria izatea espero dugu.

Jose Miguel Campillo Robles

Arrasaten, 2014ko otsailaren 5ean.

BIBLIOGRAFIA

Ikaste-prozesu guztietan liburuen erabilera oso garrantzitsua da. Termodinamikako arloan liburu on asko dago, eta horiek erabiltzera animatu nahi ditugu ikasleak. Jarraian horietariko batzuk aurkituko dituzue. Liburu hauen bitartez Termodinamikako oinarri teorikoak landu daitezke. Horretaz gain, ebatzita dituzten ariketen bidez jakintza teorikoak finkatu daitezke sakontasun handiagorekin. Azkenik, liburu guzti hauean ariketa asko dago, batzuk emaitzekin, eta beste batzuk emaitzarik gabe.

- M. J. Moran, H. N. Shapiro; *Ingeniaritza-Termodinamikoaren Oinarriak*; EHUko Argitalpen Zerbitzua, 2008.
- I. Gómez Arriaran, J. L. Gutierrez de Rozas Salterain; *Ingeniaritza Termikoa*; Udako Euskal Unibertsitatea (UEU), Bilbo, 2003.
- O. Levenspiel; *Fluidoen fluxua eta bero-trukea ingeniaritzan*, EHUko Argitalpen Zerbitzua, 2009.
- E. Esteire, A. Madrid, A. Madrid; *Energia berriztagarriak. Eskuliburu teknikoa*, EHUko Argitalpen Zerbitzua, 2012.
- Y. A. Çengel, M. A. Boles; *Termodinámica*; Ed. Mc Graw Hill, 2006.
- K. Wark; *Termodinámica*; Ed. Mc Graw Hill, 1991.
- G. J. van Wylen, R. E. Sonntag, C. Borgnakke; *Fundamentos de Termodinámica*; Ed. Limusa Wiley, 1999.
- L. D. Russell, G. A. Adebisi; *Termodinámica Clásica*; Ed. Addison-Wesley, 1997.
- M. W. Zemansky, Dittman; *Calor y Termodinámica*; Ed. Mc Graw Hill. (agortuta)
- K. Sherwin; *Introducción a la Termodinámica*; Ed. Addison-Wesley, 1995. (agortuta)
- O. Levenspiel; *Fundamentos de Termodinámica*; Pearson Educación, 1997. (agortuta)
- J. B. Jones, R. E. Dugan; *Ingeniería Termodinámica*; Ed. Prentice-Hall, 1997.
- J. Agüera Soriano; *Termodinámica Lógica y Motores Térmicos*; Ed. Mc Graw Hill, 1996.
- A. Garcia-Maroto; *Termodinámica. 40 problemas utiles*; Ed. Garcia-Maroto, Madrid, 2006.

Lagugarriak izan daitezkeen bestelako liburuak:

- M. Ensunza, J. R. Etxebarria, J. Iturbe; *Zientzia eta teknikarako euskara. Zenbait hizkuntza-baliabide*; Udako Euskal Unibertsitatea, Bilbo, 2002.
- Energiaren Euskal Erakundea (EEE-EVE), *Energiaren hiztegi entziklopedikoa*, EEE-EVE, Bilbo, 2000. (www.eve.es)
- *Fisika jostagarri*; E. De Campos Valadares, Elhuyar, 2007.
- I. Bronshtein, K. Semendiaev; *Manual de matemáticas para ingenieros y estudiantes*; Mir argitaletxea, Mosku, 1982.
- M. R. Spiegel, L. Abellanas; *Fórmulas y tablas de matemática aplicada*; Schaum seriea, McGraw-Hill, Madril, 1988.

AURKIBIDEA

1.- Termodinamikaren oinarrizko kontzeptuak	1
2.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa – Sistema itxiak	5
3.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa – Fluido termodinamikoak	15
4.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa – Sistema irekiak	37
5.- Termodinamikaren bigarren printzipioa	51
6.- Entropia	63
7.- Lurrunaren bidezko potentzia-zikloak	83
8.- Gasaren bidezko potentzia-zikloak	99
9.- Aire hezea	117
10.- Bero-transmisioa	139

1.- Termodinamikaren oinarriko kontzeptuak

OINARRIZKO EKUAZIOAK

1) Presio hidrostatikoa: $P = P_0 + \rho g z$.

Presioa adierazteko ohiko unitateak:

$$1 \text{ atm} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 1,013 \text{ bar} = 1,033 \text{ kp/cm}^2 = 760 \text{ mmHg}.$$

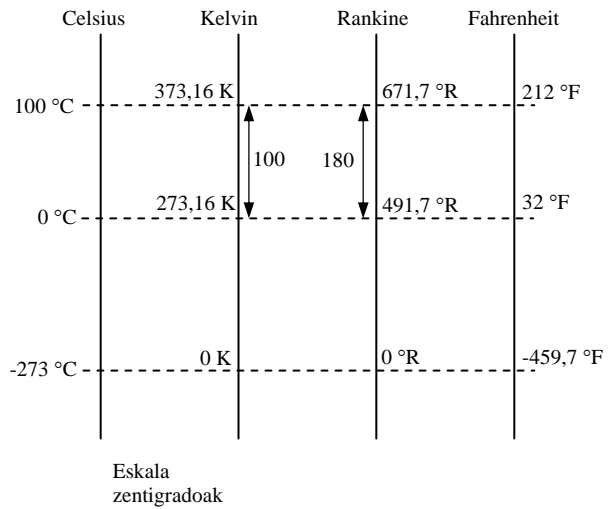
2) Tenperatura-eskalen arteko erlazioak:

$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273,15.$$

$$T(^{\circ}C) = \frac{5}{9} \cdot (T(^{\circ}F) - 32).$$

$$T(^{\circ}C) = \frac{5}{9} \cdot (T(^{\circ}R) - 491,67).$$

$$T(K) = \frac{5}{9} \cdot T(^{\circ}R).$$



3) Bolumen espezifikoaren dentsitatearen alderantzizkoa da (unitateak m^3/kg):

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho}.$$

4) Hainbat unitate eta balio:

1 mol = $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ partikula (Avogadro-ren zenbakia).

1 kcal = 4.186,85 J.

1 kWh = 3.600 kJ.

1 CV = 735,499 W

1 ZP = 1 HP = 745,7 W.

1.- Termodinamikaren oinarriko kontzeptuak

ARIKETAK EMAITZEKIN

1.1- Ondoko taulan, ur-lurrunaren bi presio jakinetarako temperaturen eta bolumen espezifikoen hainbat balio ematen dira:

$P = 0,1 \text{ MPa}$		$P = 0,12 \text{ MPa}$	
$T (^{\circ}\text{C})$	$v (\text{m}^3/\text{kg})$	$T (^{\circ}\text{C})$	$v (\text{m}^3/\text{kg})$
200	2,172	200	1,808
240	2,359	240	1,965
280	2,546	280	2,120

Sarritan, ariketetako datuak ez dira tauletakoetara zehaztasun osoz doitzen, taulako ondoz-ondoko balioen artean *interpolazio lineal* bat egitea beharrezkoa gertatuko delarik. Hemen emandako datuetatik abiatuz estima itzazu:

a) bolumen espezifikoa m^3/kg -tan, $T = 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ eta $P = 0,113 \text{ MPa}$ balioetarako.

b) temperatura $^{\circ}\text{C}$ -tan, $P = 0,12 \text{ MPa}$ eta $v = 1,85 \text{ m}^3/\text{kg}$ balioetarako.

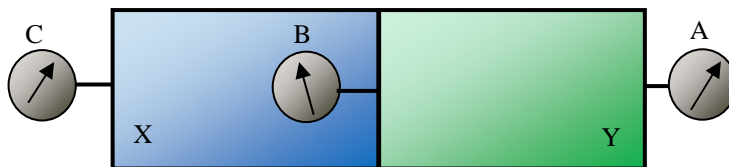
c) temperatura K-tan, $P = 0,11 \text{ MPa}$ eta $v = 2,20 \text{ m}^3/\text{kg}$ balioetarako.

Emaitzak: a) $1,935 \text{ m}^3/\text{kg}$; b) $211 \text{ }^{\circ}\text{C}$; c) 522 K .

1.2- Manometro bat gas-gordailu batekin konektatuta dago, bertako presioa ingurukoa baino handiagoa delarik. Manometroko likidoa merkurioa da, $13,59 \text{ g/cm}^3$ dentsitatekoa. Manometroko alde bien arteko altuera-diferentzia 2 cm -koa da. Grabitatearen azelerazioa $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ eta presio atmosferikoa $93,0 \text{ kPa}$ dira. Kalkula itzazu, kPa-etan: a) gasaren presio manometrikoa. b) gasaren presio absolutua.

Emaitzak: a) $2,67 \text{ kPa}$; b) $95,67 \text{ kPa}$.

1.3- Beheko irudian bi gelako ontzia ageri da. A manometroak $2,81 \text{ bar}$ adierazten du, eta X gelaren barruan dagoen B manometroak $1,05 \text{ bar}$. Barometroak $1,02 \text{ bar}$ adierazten du.



Zer adieraziko du C manometroak? Eman ezazu presio absolutua ere.

Emaitzak: $1,76 \text{ bar}$; $2,78 \text{ bar}$.

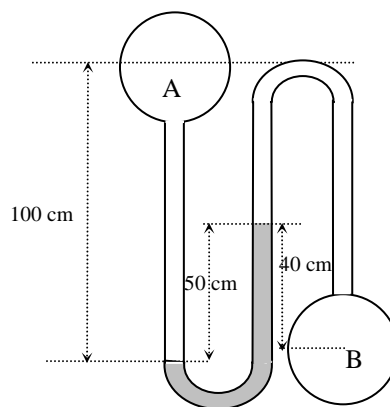
1.4- X propietate termometrikoa, beirazko termometroaren merkurio-zutabe baten luzera hain zuzen, termometroa izotz-puntuan eta lurrun-puntuan dagoenean $7,5 \text{ cm}$ eta $52,5 \text{ cm}$ da hurrenez hurren. T temperatura zentigradua da eta X-ekin linealki aldatzen da. T^* beste temperatura zentigradua $T^* = a + b \cdot X^2$ ekuazioaren bidez defini dezagun, izotz eta lurrun-puntuetan, berorren balioak $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ eta $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ izanik, hurrenez hurren, eta a eta b bi konstante. $T 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ denean T^* temperatura berri hau kalkulatu.

Emaitza: $22 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

1.- Termodinamikaren oinarriko kontzeptuak

1.5- Ura (dentsitatea = 1.000 kg/m^3) eta merkurioa (dentsitate erlatiboa = 13,6) dituen manometro batek A eta B gordailuak lotzen ditu, irudian erakusten den bezala. Tokiko grabitatearen azelerazioa $9,75 \text{ m/s}^2$ da. $P_B = 3,5 \text{ kg/cm}^2$ bada, P_A kalkulatu.

Emaitza: $4,037 \text{ kg/cm}^2$.



1.6- Bete ondoko taula:

T ($^{\circ}\text{F}$)	T ($^{\circ}\text{R}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	T (K)
60			
	600		
		- 5	
			400

Emaitzak:

T ($^{\circ}\text{F}$)	T ($^{\circ}\text{R}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	T (K)
60	519,69	15,56	288,72
140,31	600	60,17	333,33
23	482,69	- 5	268,16
260,31	720	126,84	400

1.7- Honako unitate-aldaketak egin itzazu:

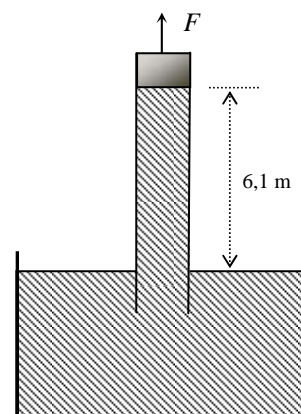
- 20 kg/cm^2 manometrikoak, kg/cm^2 absolutuetara.
- 15 cm Hg hutsezkoak, cm Hg absolutuetara.
- $0,35 \text{ kg/cm}^2$ absolutuak, cm Hg hutsezkoetara.
- 10 cm Hg manometrikoak, cm Hg absolutuetara eta kg/cm^2 absolutuetara.

Emaitzak: a) $21,033 \text{ kg/cm}^2$; b) 61 cm Hg ; c) $50,25 \text{ cm Hg}$; d) 86 cm Hg ; $1,169 \text{ kg/cm}^2$.

1.8- $18,2 \text{ kg}$ -ko masa duen enboloa gorantz tiratzen da $15,2 \text{ cm}$ -ko diametroa duen hodi bertikal baten barruan. Hodiaren beheko aldea urez beteriko tanke baten barruan dago (ikus alboko irudia). Enboloarekin ukipenean ura $6,1 \text{ m}$ -ko altueraraino igotzen da. Tokiko presio atmosferikoa $1,05 \text{ kg/cm}^2$ eta grabitatearen azelerazioa $9,45 \text{ m/s}^2$ dira. Aurkitu:

- beharrezkoa den enboloaren gaineko F indarra.
- Urak enboloari egiten dion presioa.

Emaitzak: a) 1.218 N ; b) $45,322 \text{ kPa}$.



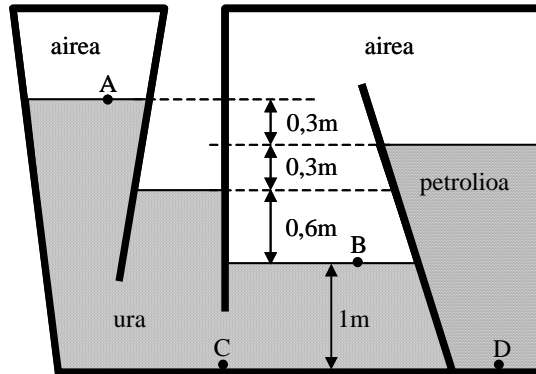
1.- Termodinamikaren oinarriko kontzeptuak

1.9- Gas-gordailu baten barruko presio absolutua 0,05 MPa-koa da eta inguruko eguratsarena 101 kPa. Gordailuan lotutako manometro batean, zein neurketa egongo da kPa-etan? Presio manometrikoa ala hutsezkoa da hori?

Emaitza: 51 kPa, hutsezkoa.

1.10- Beheko irudiko ontzian airea, petrolioa eta ura dauzkagu. Aurkitu A, B, C eta D puntuen presio manometrikoa pascaletan. Datuak: $\rho_{\text{petrolioa}} = 0,85 \text{ g/cm}^3$; $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

Emaitzak: $P_A = -5.880 \text{ Pa}$; $P_B = 5.880 \text{ Pa}$; $P_C = 15.680 \text{ Pa}$; $P_D = 21.707 \text{ Pa}$.



OINARRIZKO EKUAZIOAK

1) Kontzeptu fisiko erabilgarriak:

- Lana (unitatea: joule = J): $W = \int \delta W = \int \vec{F} \cdot d\vec{r}$.

- Potentzia (unitatea: watt = W): $\dot{W} = \frac{\delta W}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v}$.

- Errotazioko lana: $W = \int \delta W = \int M d\theta \rightarrow \dot{W} = M\omega$.

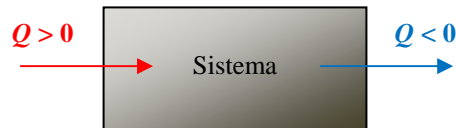
- Erresistentzia elektrikoan askatutako energia (Joule efektua):

$$\dot{W} = RI^2 \rightarrow (I = kte) \rightarrow W = RI^2 t .$$

2) Muga higikorreko lana: $W_{12} = \int_{V_1}^{V_2} P dV \rightarrow \begin{cases} \text{kompresioan } W < 0 \\ \text{hedapenean } W > 0 \end{cases}$.

Interpretazio grafikoa: prozesua irudikatzen duen lerroaren azpiko azalera, P - V diagraman.

3) Beroa (unitatea: joule = J):



4) Lehenengo printzipioa sistema itxietan: $\sum_i Q_i - \sum_j W_j = \Delta U + \Delta E_z + \Delta E_g$.

Normalean sistemaren energia potentzial grabitatorioa eta energia zinetikoa ez dira aldatzen:

$$\sum_i Q_i - \sum_j W_j = \Delta U .$$

5) Batezbesteko bero-ahalmena (unitateak: cal/K edo kJ/°C):

$$\langle C \rangle = \frac{Q}{\Delta T} = \frac{Q}{(T_2 - T_1)} .$$

2.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa – Sistema itxiak

Bero-ahalmena (unitateak: cal/ K edo kJ/ °C):

$$C = \frac{\delta Q}{dT}.$$

Bero(-ahalmen) espezifikoa (unitateak: cal/(kg K) edo kJ/(kg °C)):

$$c = \frac{C}{m} = \frac{1}{m} \cdot \left(\frac{\delta Q}{dT} \right) = \frac{\delta q}{dT}.$$

Presio konstanteko bero espezifikoa:

$$c_p = \left(\frac{\delta q}{dT} \right)_{p=\text{kte}}.$$

Bolumen konstanteko bero espezifikoa:

$$c_v = \left(\frac{\delta q}{dT} \right)_{v=\text{kte}}.$$

2.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa – Sistema itxiak

EBATZITAKO ARIKETAK

2.A- Bateria bat kargatzeko 20 A-ko korrante elektrikoa erabiltzen da, potentzial-diferentzia 12,8 V-koa izanik. Bestalde, bateriatik beroa askatzen da ingurura 10 W-ko eritmoarekin. Zein denbora-tarte beharko du bateriak 300 kJ-eko energia pilatzeko?

Ebazpena: Bateriaren barne-energiaren aldaketa denboran zehar honela kalkulatzen da:

$$\frac{dU}{dt} = -10 + 20 \cdot 12,8 = 246 \text{ W} .$$

$$\text{Beharrezkoa den denbora: } 3 \cdot 10^5 \text{ J} \times \frac{1 \text{ s}}{246 \text{ J}} = 1.219,5 \text{ s} \approx 20 \text{ min } 20 \text{ s} .$$

2.B- Eguzki-etxe pasibo batek ingurura 50.000 kJ/h batezbesteko eritmoan askatzen du beroa. Neguko gau batean, etxea 22 °C-tan mantentzen da 10 orduz. Etxea 20 litro ur dituzten beirazko 50 gordailuen bitartez berotzen da. Egunean zehar ur hori 80 °C-tan jarri da eguzki-energiaren bidez. Bestalde, 15 kW-eko berogailu elektrikoa laguntzeko erabiltzen da. Berogailu elektrikoa etxea 22 °C-tan mantentzeko baino ez da pizten termostato baten bidez. Gordailuak 30 °C-tara hozten badira:

a) kalkulatu berogailu elektrikoa gauean zenbat denbora egon den piztuta.

b) Eguzki-sistema erabili gabe, zenbat denbora egon beharko litzateke piztuta berogailu elektrikoa?

Datua: $c_{\text{ura}} = 1 \text{ cal}/(\text{g K})$.

Ebazpena: a) Hamar ordutan etxeak galdutako energia: $Q = 50.000 \cdot 10 = 500.000 \text{ kJ} .$

Urez beteriko gordailuek etxean askatutako beroa: $n \cdot m \cdot c \cdot \Delta T = 50 \cdot 20 \cdot 4,186 \cdot (80 - 30) = 209.000 \text{ kJ} .$

Erresistentziak askatu beharreko beroa aurreko balioen arteko diferentzia da: 291.000 kJ .

Hori lortzeko, erresistentzia elektrikoa piztuta egon behar den denbora hau da:

$$t = \frac{291.000 \text{ kJ}}{15 \text{ kJ/s}} = 19.400 \text{ s} = 5,38 \text{ h} .$$

b) Eguzki-energiarik gabe erresistentzia piztuta egon behar den denbora:

$$t = \frac{500.000 \text{ kJ}}{15 \text{ kJ/s}} = 33.333,3 \text{ s} = 9,25 \text{ h} .$$

2.C- Gas bat era itzulgarrian hedatu da, litro bateko hasierako bolumenetik. Prozesuan zehar, presioa ondoko ekuazioaren arabera aldatu da:

$$P = -2V + 8,$$

non P bar-etan eta V litrotan adierazita dauden. Gasak egindako lana 230 J-koa dela jakinik, kalkula ezazu cm^3 -tan amaierako bolumena.

2.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa – Sistema itxiak

Ebazpena: $W = \int_A^B P dV = \int_A^B (-2V + 8) dV = 230 \text{ J} = 2,3 \text{ bar} \cdot \text{l}.$

Integraletik bigarren mailako ekuazio bat lortzen da: $V_B^2(1) - 8V_B(1) + 9,3 = 0.$

Ekuazio honek bi soluzio positiboak ditu:

$$(V_B)_1 = 6,5884 \cdot 10^3 \text{ cm}^3.$$

$$(V_B)_2 = 1,4116 \cdot 10^3 \text{ cm}^3.$$

Fisikoki posiblea den soluzio bakarra bigarrena da, lehenengoak presio negatiboa ematen baitu.

2.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa – Sistema itxiak

ARIKETAK EMAITZEKIN

2.1- Pistoi higikorreko zilindro baten barruko gasa 4 bar-eko presio konstantez hedatu da $V_1 = 0,15 \text{ m}^3$ hasierako bolumenetik $V_2 = 0,36 \text{ m}^3$ amaierako bolumeneraino. Kalkula ezazu lana, kJ-tan.

Emitza: 84 kJ.

2.2- Gas bat $0,09 \text{ m}^3$ -tatik $0,03 \text{ m}^3$ -tara konprimitu da. Prozesuan zehar presioa eta bolumenaren arteko erlazioa hau da: $P = -14 \cdot V + 2,44$, non P bar-etan eta $V \text{ m}^3$ -tan neurtuta dauden. Kalkula ezazu gasak egindako lana, kJ-tan.

Emitza: -9,6 kJ.

2.3- Enbolo-zilindro sistema batean, 1 kg-ko sistema bat hedatzen da $5,6 \text{ kg/cm}^2$ eta $0,06 \text{ m}^3$ hasierako presio eta bolumenetatik $0,25 \text{ m}^3$ amaierako bolumeneraino. Kalkula ezazu sistemak egindako lana ondoko lau kasuetan:

a) $P = kte$.

b) $P \cdot V = kte$.

c) $P \cdot V^{1,4} = kte$.

d) $P(\text{kg/cm}^2) = -50 V(\text{m}^3) + 8,6$.

Emitzak: a) 10.640 kg m; b) 4.795,1 kg m; c) 3.653,6 kg m; d) 1.615 kg m.

2.4- 2 kg-ko masako sistema itxia, ingurura 25 kJ-ko bero-kantitatea transferitzen den prozesua jasan du. Prozesuan zehar, sistemaren gainean egindako lana 100 kJ-koa izan da. Sistemaren barne-energia espezifikoa 15 kJ/kg-tan gutxitu da eta sistemak 1.000 m-ko altuera irabazi du. Grabitatearen azelerazioa konstantea da, $g = 9,6 \text{ m/s}^2$. Kalkula ezazu sistemaren energia zinetikoaren aldaketa, kJ-tan.

Emitza: 85,8 kJ.

2.5- Sistema itxi batek ($m = 5 \text{ kg}$) ingurura 150 kJ-ko bero-kantitatea transferitzen den prozesua jasan du. Sistemaren gainean egindako lana 75 kJ-koa da. Sistemaren hasierako barne-energia espezifikoa 450 kJ/kg izanik, zein da amaierakoa? Energia zinetiko eta potentzialaren aldaketak mespreza itzazu.

Emitza: 435 kJ/kg.

2.6- Baloi esferiko batek 25 cm-ko diametroa du, eta barruan 1,5 atm-tan dagoen airea dauka. Beroketarik diametroa 5 cm handitu da. Prozesuan zehar presioa eta diametroa proportzionalak dira. Kalkula bedi gasak egindako lana, prozesu kuasiestatiko delako kontutan harturik.

Emitza: 1.001 J.

2.7- Gramo bateko masa duten kobrezko perdigoiak $100 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan daude. Ontzi batean, 500 g ur daukagu $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan. Zenbat perdigoik bota behar ditugu ontzian sistemaren amaierako tenperatura $25 \text{ }^\circ\text{C}$ -koa izateko? Ontziaren bero-ahalmena arbuiatu. Datuak: $c_{\text{Cu}} = 0,0924 \text{ cal/(g }^\circ\text{C)}$; $c_{\text{ura}} = 1 \text{ cal/(g }^\circ\text{C)}$.

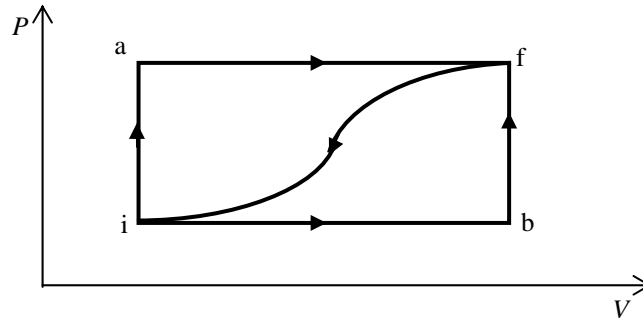
Emitza: 361 perdigoik.

2.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa – Sistema itxiak

2.8- Haize-errotari lotutako sorgailu elektrikoak 5 kW-ko batezbesteko potentzia ematen du, berori bateriak kargatzeko erabiltzen delarik. Bateriatik ingururako bero-transferentzia konstantea da bere balioa 0,6 kW-koa izanik. Aurki ezazu, kJ-tan, 8 ordutan baterian pilatu den energia osoa.

Emaitza: $1,27 \cdot 10^5$ kJ.

2.9- Sistema bat ia f ibilbideari jarraiturik i egoeratik f egoerara eramatean, $Q = 50$ kcal eta $W = 20$ kcal direla aurkitu da. ibf ibilbidetik ordea, $Q = 36$ kcal. a) Zein da W ibf ibilbidean? b) fi bueltako ibilbiderako $W = -13$ kcal bada, zenbat da kasu honetarako Q ? c) Har ezazue $U_i = 10$ kcal. Zenbat dateke U_f ? d) $U_b = 22$ kcal izanik, zenbat da Q ib prozesurako? Zenbat bf-rako?



Emaitzak: a) 6 kcal; b) -43 kcal; c) 40 kcal; d) 18 kcal; 18 kcal.

2.10- Sistema itxi batek 3 kW-ko bero-xurgapen konstanteko prozesua jasan du. Sistemak garatutako potentzia denborarekin aldatzen da, ondokoaren arabera:

$$\dot{W} = \begin{cases} 2,4 \cdot t & 0 < t \leq 1 \text{ h} \\ 2,4 & t > 1 \text{ h} \end{cases}$$

non t ordutan eta \dot{W} kW-tan dauden. a) Zein da, kW-tan neurtuta, sistemaren energia-aldaketaren abiadura $t = 0,6$ h-rako? b) Aurki ezazu, kJ-tan, 2 ordutan gertatuko den sistemaren energiaren aldaketa.

Emaitzak: a) 1,56 kW; b) 8.640 kJ.

2.11- 2,8 atm-ko presioan, uraren lurrunketa-bero sorra 513,2 kcal/kg da, eta lurrunketan uraren bolumen espezifikoa 1,07 litro/kg-tik 655 litro/kg-ra aldatzen da. Zein da barne-energia espezifikokoaren aldaketa lurrunketan?

Emaitza: 468,8 kcal/kg.

2.12- Gas batek ondoko ziklo termodinamikoa burutu du:

1-2 : presio konstantea, $P = 1,4$ bar; $V_1 = 0,028 \text{ m}^3$; $W_{12} = 10,5$ kJ.

2-3 : konprimaketa: $P \cdot V = \text{cte.}$; $U_3 = U_2$.

3-1 : bolumen konstantea; $U_1 - U_3 = -26,4$ kJ.

Zikloan ez dago energia zinetikoa edo potentzialaren aldaketa neurgarririk.

a) Adieraz ezazu zikloa P - V diagrama baten bidez.

b) Zikloaren lan netoa, kJ-tan, kalkula ezazu.

c) 1-2 prozesuan transferitutako beroa, kJ-tan.

Emaitzak: b) -8,28 kJ; c) 36,9 kJ.

2.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa – Sistema itxiak

2.13- Bete ezazu hiru prozesuko zikloari dagokion taula hau:

Bilakaera	Q (kcal)	ΔU (kcal)	W (kJ)
1—2		-3,4	26,2
2—3	-4,4		-10,6
3—1	8,8		

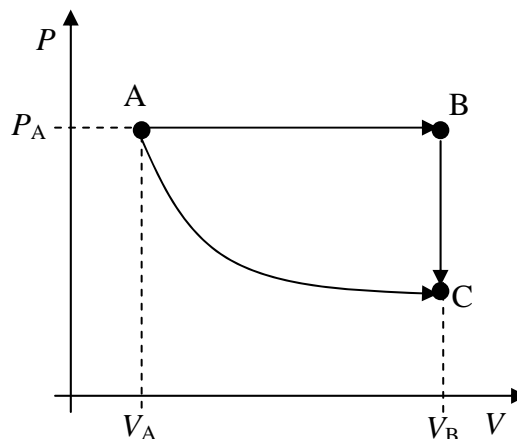
Emaitzak:

Bilakaera	Q (kcal)	ΔU (kcal)	W (kJ)
1—2	2,858	-3,4	26,2
2—3	-4,4	- 1,868	-10,6
3—1	8,8	5,268	14,787

2.14- Zenbat kaloria behar dira aluminioko 3 kg 20 °C-tik 50 °C-ra berotzeko? $c_{Al} = 0,215 \text{ cal}/(\text{g } ^\circ\text{C})$.

Emaitza: $1,935 \cdot 10^4 \text{ cal}$.

2.15- Sistema termodinamiko batek AC bilakaera bi ibilbide desberdinak erabiliz egin dezake. Esperimentalki honako balio hauek neurtu dira ABC ibilbidearentzat: $P_A = 1.000 \text{ kPa}$; $V_A = 100 \text{ l}$; $V_B = 300 \text{ l}$; $Q_{AB} = 120 \text{ kJ}$; $Q_{BC} = -40 \text{ kJ}$. AC ibilbide zuzena erabiliz $Q_{AC} = 60 \text{ kJ}$ -eko bero-transferentzia neurtu da. Kalkulatu W_{AC} .



Emaitza: 180 kJ.

2.16- 600 kg ur-masa bati energia hornitu zaio, 10 ZP kontsumitzen duen paletadun irabiagailu batez. Energia-galerarik ez dagoela suposatuz, kalkula ezazu tenperatura bi graduz igotzeko behar den denbora. Datuak: $c_{ura} = 1 \text{ cal}/(\text{g } ^\circ\text{C})$ eta $1 \text{ ZP} \approx 735 \text{ W}$.

Emaitza: 11 min 22 s.

2.17- Sistema itxi batek prozesu kuasiestatikoa burutzen du, sistemak egindako lana 1 J-ekoa izanik. Presioa ondoko ekuazioaren arabera aldatzen da: $P(\text{Pa}) = -4 \cdot V(\text{L}) + 200$. Hasierako bolumena $V_1 = 20 \text{ L}$ -koa da. Kalkula itzazu amaierako presioa eta bolumena (SI-eko unitateetan).

Emaitzak: 30 L; 80 Pa.

2.18- Sistema itxi batek prozesu kuasiestatikoa burutu du, sistemak egindako lana 12 kJ-koa izanik. Presioa ondoko adierazpenaren arabera aldatu da: $P(\text{kPa}) = -8 V(\text{m}^3) + 20$. Hasierako bolumena hau da: $V_1 = 500 \text{ L}$. Kalkula itzazu amaierako presioa eta bolumena, nazioarteko unitateetan.

Emaitzak: 8 kPa; 1.500 L.

2.19- Ontzi baten barruko gas batek 50 kcal/min askatzen ditu; aldi berean, 80 kW-ko potentzia garatuz hedatzen da. Kalkula ezazu 20 minututan izango duen barne-energiaren aldakuntza, kJ-tan.

Emaitza: -100.187 kJ.

2.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa – Sistema itxiak

2.20- Ebaki bat prestatu nahi dugu. Horretarako, 10 °C-tan dagoen 10 g esne eta 90 °C-tan dagoen 160 g kafe erabiliko ditugu. Zein da ebakiaren amaierako tenperatura? Katiluaren bero-ahalmena arbuia, eta bi likidoetarako uraren bero-ahalmena hartu.

Emaitza: 85,3 °C.

2.21- Marruskadurarik gabeko zilindro pistoidun baten barruko gasaren hasierako presioa 800 kPa da eta bolumena, 10 L. Gasa 20 L amaierako bolumeneraino hedatzen da $PV^2 = \text{cte}$ prozesu bati jarraituz. Kalkula ezazu gasak pistoiaren aurka egindako lana, kJ-tan.

Emaitza: 4 kJ.

2.22- Zilindro pistoidun baten barruan, 0,1 m³ okupatzen duen gasa daukagu 3 bar-etan. Prozesu politropiko baten bidez gasaren bolumena bikoizten da. Kalkulatu prozesuan egindako lana honako kasuetarako: a) $n = 1,5$; b) $n = 1,0$ eta c) $n = 0$.

Emaitzak: a) 17,6 kJ; b) 20,79 kJ; c) 30 kJ.

2.23- Zilindro pistoidun baten barruko gasak bi prozesu jasan ditu jarraian. 1 egoeratik 2 egoerara 500 kJ-ko beroa eman zaio gasari, eta honek 800 kJ-ko lana egin du pistoiaren gainean. Bigarren prozesua, 2-tik 3-ra, 400 kPa-eko presio konstantepeko konprimaketa da, eta bertan gasak 450 kJ-ko bero-kantitatea askatu du. Ondoko datuak ere ezagunak dira: $U_1 = 2.000$ kJ eta $U_3 = 3.500$ kJ. Energia zinetiko eta potentzialaren aldaketak mesprezaturik, kalkulatu 2-3 prozesuko bolumen-aldaketa m³-tan.

Emaitza: -5,625 m³.

2.24- Zilindro pistoidun baten barruko gasa $P_1 = 3,4$ bar, $V_1 = 0,0283$ m³ egoeratik $P_2 = 8,2$ bar egoeraraino konprimatu da, presioa eta bolumenaren arteko erlazioa hau da: $P \cdot V^{1,2} = \text{cte}$. Gasaren masa 0,183 kg-koa da. Prozesuan zehar, gasak askatutako beroa 2,2 kJ-koa da. Aurki ezazu kJ/kg-tan gasaren barne-energia espezifikoren aldaketa. Energia zinetikoa zein potentzialaren aldakuntzak arbuia gertatu dira.

Emaitza: 29,8 kJ/kg.

2.25- Paletadun gurgil bat duen gordailu zurrun itxi baten barruan gas bat dugu. Gurgilak 20 minututan eragingo du gasa, denborarekiko aldatzen den ondoko potentzia aldakorraz: $\dot{W} = -10 \cdot t$, non \dot{W} wattetan eta t minututan dauden. Gasetik ingururako bero-transferentzia 50 W-ko fluxu konstantez gertatuko da. Kalkula itzazu:

a) gasaren energia-aldaketaren abiadura $t = 10$ minuturako watt-etan;

b) gasaren energia-aldaketa netoa 20 minuturen ondoren kJ-tan.

Emaitzak: a) 50 W; b) 60 kJ.

2.26- 5 g-ko gorputz bat 50 °C-tik 150 °C-ra berotu dugu. Gorputzaren bero espezifikoa tenperaturaren funtzioa da:

$$c \left(\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} \right) = 0,2 + \left(\frac{15}{T(^{\circ}\text{C}) + 126} \right).$$

a) Zenbat bero eman behar izan diogu gorputzari prozesuan?

b) Zein da gorputzaren batezbesteko bero espezifikoa?

c) Irudikatu gorputzaren bero espezifikoa eta azaldu grafikoki aurreko emaitzak.

Emaitza: 559,8 J; 0,2675 cal/(g °C).

2.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa – Sistema itxiak

2.27- Ondo isolatutako gordailu zurruna airez beterik dago ($0,2 \text{ m}^3$). Paletadun gorpil batek, 4 W -ko erritmo konstantez, energia transferituko dio aireari 20 minututan zehar. Airearen hasierako dentsitatea $1,2 \text{ kg/m}^3$ da. Energia zinetikoa eta potentzialaren aldaketak mesprezagarriak izanik, kalkula itzazu:

- a) amaierako bolumen espezifikoa, m^3/kg -tan.
- b) Airearen barne-energia espezifikoaren aldaketa, kJ/kg -tan.

Emaitzak: a) $0,833 \text{ m}^3/\text{kg}$; b) 20 kJ/kg .

2.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa – Sistema itxiak

3.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa – Fluido termodinamikoak

ONARRIZKO EKUAZIOAK

1) Gibbs-en araua faseetarako. Sistema batean independenteak diren magnitude intentsiboen kopurua, F , honela kalkulatzen da:

$$F = C - P + 2,$$

non C osagai-kopurua den, eta P fase-kopurua.

2) Lurrun hezearen titulua edo kalitatea:

$$x = \frac{m_{\text{lurrun}}}{m_{\text{osoa}}} = \frac{m_{\text{lurrun}}}{(m_{\text{lurrun}} + m_{\text{likido}})} \rightarrow (0 \leq x \leq 1).$$

Likido ase: $x = 0$.

Lurrun ase: $x = 1$.

3) Egoera bifasikoetako magnitudeen kalkulua:

• Bolumen espezifikoa: $v = (1 - x) \cdot v_f + x \cdot v_g$.

• Barne-energia: $u = (1 - x) \cdot u_f + x \cdot u_g$.

4) Gas idealen ekuazioaren hainbat forma:

$P \cdot \bar{v} = \bar{R} \cdot T \rightarrow P$ presioa, \bar{v} bolumen molarra (m^3/mol), T temperatura (K) eta gas idealen konstante unibertsala: $\bar{R} = 8,314 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol K}} = 0,08205 \frac{\text{atm l}}{\text{mol K}}$.

$P \cdot v = \left(\frac{\bar{R}}{M} \right) \cdot T = R \cdot T \rightarrow M$ masa molekularra (kg/kmol), v bolumen espezifikoa (m^3/kg) eta $R = \frac{\bar{R}}{M}$ gas bakoitzaren ezaugarria ($\text{kJ}/(\text{kg K})$).

$P = \rho \cdot R \cdot T \rightarrow \rho$ dentsitate bolumentrikoa (kg/m^3).

$P \cdot V = m \cdot R \cdot T \rightarrow m$ gasaren masa (kg) eta V bolumena.

$P \cdot V = n \cdot \bar{R} \cdot T \rightarrow n$ mol-kopurua.

$P \cdot V = N \cdot k \cdot T \rightarrow N = n \cdot N_A$ molekula-kopurua eta $k = \frac{\bar{R}}{N_A} = 1,381 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$ Boltzmann-en konstantea.

3.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa – Fluido termodinamikoak

5) Gas idealetan, sistemaren masa konstante mantentzen bada: $\frac{P \cdot V}{T} = \text{kte}$.

6) Konprimagarritasun-faktorea:

$$Z = \frac{Pv}{RT} = \frac{P\bar{v}}{RT}$$

7) Gas idealen barne-energia eta entalpia: $U = U(T)$ eta $H = U + PV = H(T)$.

8) Gas idealen bero espezifikoa:

• Bolumen konstanteko bero espezifikoa:

$$c_v = \frac{du}{dT} \rightarrow \Delta u = \int c_v dT \rightarrow c_v \approx \text{kte} \rightarrow \Delta u = c_v \cdot \Delta T$$

• Presio konstanteko bero espezifikoa:

$$c_p = \frac{dh}{dT} \rightarrow \Delta h = \int c_p dT \rightarrow c_p \approx \text{kte} \rightarrow \Delta h = c_p \cdot \Delta T$$

Bero espezifikoen arteko erlazioak:

• Mayer-en erlazioa: $R = c_p - c_v$.

• Berretzaile adiabatikoa $k = \frac{c_p}{c_v}$.

• Berretzaile politropikoa: $n = \left(\frac{c_p - c}{c_v - c} \right) \rightarrow c = \left(\frac{k - n}{1 - n} \right) \cdot c_v$.

9) Gas idealen bilakaera adiabatikoetan betetzen diren ekuazioak:

$$P \cdot v^k = \text{kte} ; T \cdot v^{k-1} = \text{kte} ; P^{1-k} \cdot T^k = \text{kte}$$

10) Gas idealen bilakaera politropikoetan betetzen diren ekuazioak:

$$P \cdot v^n = \text{kte} ; T \cdot v^{n-1} = \text{kte} ; P^{1-n} \cdot T^n = \text{kte}$$

3.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa – Fluido termodinamikoak

11) Solido eta likidoetan, konprimiezinak direlako: $c_v = c_p = c(T)$.

$$\Delta u = \int c(T) \cdot dT .$$

$$\Delta h \approx \Delta u .$$

3.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa – Fluido termodinamikoak

EBATZITAKO ARIKETAK

3.A- 20 litroko gordailu zurrun bateko ur-lurruna hozten da, 250 °C eta 6 bar egoeratik 100 °C-ko temperaturara iritsi arte. Amaierako egoeran, zein ur-masa egongo da likido modura?

Ur-lurrun gainberotuaren taula

<i>P</i>	<i>T</i>	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>h</i>	<i>s</i>
kPa	°C	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/(kg·K)
400					
	200	0,5342	2.646,4	2.860,1	7,1699
	250	0,5951	2.725,6	2.963,6	7,3779
	300	0,6548	2.804,4	3.066,3	7,5654
600					
	200	0,3520	2.638,5	2.849,7	6,9658
	250	0,3938	2.720,3	2.956,6	7,1806
	300	0,4344	2.800,5	3.061,2	7,3716

Ur asearen temperaturen taula

$v_f, v_g : \text{m}^3/\text{kg}; u_f, u_g, h_f, h_g : \text{kJ}/\text{kg}$

<i>T</i> (°C)	<i>P</i> (kPa)	<i>v_f</i>	<i>v_g</i>	<i>u_f</i>	<i>u_g</i>	<i>h_f</i>	<i>h_g</i>	<i>T</i> (°C)
95	84,529	0,001040	1,9828	397,89	2.500,1	397,98	2.667,7	95
100	101,32	0,001043	1,6736	418,96	2.506,1	419,06	2.675,7	100
105	120,79	0,001047	1,4200	440,05	2.512,1	440,18	2.683,6	105

Ebazpena: Hasieran ur-lurrun gainberotua daukagu: $T_1 > T_f(6 \text{ bar}) = 158,9^\circ\text{C}$.

Gordailu zurruna eta itxia izateagatik, bolumen espezifikoa konstante mantentzen da prozesuan zehar: $v_2 = v_1 = 0,3938 \text{ m}^3/\text{kg}$.

Ur-lurrunaren masa: $m = \frac{V}{v} = \frac{0,020}{0,3938} = 50,79 \text{ g}$.

Prozesuaren amaieran lurrun hezea izango dugu: $v_f(100^\circ\text{C}) < v_2 < v_g(100^\circ\text{C})$.

Bigarren egoeraren titulua hau da: $x_2 = \left(\frac{v_2 - v_f(100^\circ\text{C})}{v_g(100^\circ\text{C}) - v_f(100^\circ\text{C})} \right) = \left(\frac{0,3938 - 0,001043}{1,6736 - 0,001043} \right) = 0,2348$.

Likido modura dagoen ur-masa: $m_{\text{lik}} = (1 - x_2) \cdot m = (1 - 0,2348) \cdot 0,0508 = 38,86 \text{ g}$.

3.B- Ontzi zurrun batean CCl_2F_2 hozgarriko 0,1 kg daukagu 2,8 bar-etan eta 100 °C-tan. Sistematik beroa ateratzen dugu presioa 2,4 bar izan arte. Prozesuan zehar, ontziaren barruan dagoen paletadun gurpil bati 30 bira emanarazi diogu, 6 Nm-ko momentua erabiliz. Kalkulatu atera dugun beroa, kJ-tan.

3.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa – Fluido termodinamikoak

Ebazpena: Gordailuaren bolumena eta gasaren masa konstanteak direnez, bolumen espezifikoak ere konstanteak izango dira: $v_1 = 0,08924 \text{ m}^3/\text{kg} = v_2$.

$v_2 > v_g(2,4 \text{ bar}) \rightarrow$ Bigarren egoeran ere lurrin gainberotua da.

Gurpilak egindako lana: $W = M \theta = -6 \cdot 30 \cdot 2\pi = -1.130,973 \text{ J}$.

Amaierako egoeran: $v_2(2,4 \text{ bar}) \approx v(2,4 \text{ bar}, 50 \text{ }^\circ\text{C}) \rightarrow u_2 \approx 199,51 \text{ kJ/kg}$.

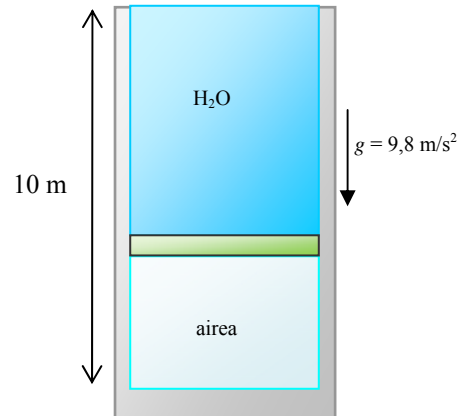
$\Delta U = m \cdot (u_2 - u_1) = 0,1 \cdot (199,51 - 228,29) = -2,878 \text{ kJ}$.

$Q = W + \Delta U = -4,009 \text{ kJ}$.

3.C- Zilindro baten altuera 10 m-koa da eta zeharkako barne-sekzioa $0,1 \text{ m}^2$ -koa. Marruskadurarik gabe labain daitekeen pisurik gabeko pistoi adiabatiko batez itxita dago. Pistoiaren azpian $0,3 \text{ m}^3$ aire dago 300 K -etan eta bere gainean ur likidoa. Eguratsaren presioa 1 bar da. Aireak poliki berotzen da, pistoia igotzean ura isurtzen delarik. Ur likidoaren dentsitatea bere balio ezagun konstantean mantentzen da. Aireerako: $R = 0,287 \text{ kJ}/(\text{kg K})$; $c_v = 0,72 \text{ kJ}/(\text{kg K})$.

a) Airearen presioa pistoiaren altueraren funtzioan ematen duen adierazpen bat deduzitu (arbuia pistoiaren lodiera).

b) Ur guztia kanporatu arte barruko aireari emandako beroa aurkitu.



Ebazpena: a) Airearen presioa eguratsaren presioa eta urak eragindakoa batuz lortzen da:

$$P = P_{\text{atm}} + \left(\frac{\rho \cdot g \cdot A \cdot (L - h)}{A} \right) = P_{\text{atm}} + \rho \cdot g \cdot (L - h).$$

$P = 100 + (10^3 \cdot 9,8 \cdot (10 - h) \cdot 10^{-3}) = 198 - 9,8 \cdot h \text{ (kPa)}$. Adierazpen honetan h metrotan dago.

b) Airearen hasierako altuera eta presioa: $h_1 = \frac{0,3}{0,1} = 3 \text{ m} \rightarrow P_1 = 198 - 9,8 \cdot 3 = 168,6 \text{ kPa}$.

$$\text{Airearen masa: } m = \left(\frac{P_1 \cdot V_1}{R \cdot T_1} \right) = \left(\frac{168,6 \cdot 0,3}{0,287 \cdot 300} \right) = 0,58746 \text{ kg}.$$

Ura kanporatu ostean aireak eguratsaren presioa besterik ez du izango: $P_2 = 100 \text{ kPa}$.

Airearen amaierako tenperatura:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \rightarrow T_2 = \left(\frac{P_2}{P_1} \right) \cdot \left(\frac{V_2}{V_1} \right) \cdot T_1 = \left(\frac{100}{168,6} \right) \cdot \left(\frac{10}{3} \right) \cdot 300 \approx 593 \text{ K}.$$

$$\Delta U = m \cdot c_v \cdot (T_2 - T_1) = 0,58746 \cdot 0,72 \cdot (593 - 300) = 123,93 \text{ kJ}.$$

$$W = \int_3^{10} (198 - 9,8h) \cdot 0,1 dh = 94,01 \text{ kJ} \rightarrow Q = \Delta U + W = 123,93 + 94,01 = 217,94 \text{ kJ}.$$

3.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa – Fluido termodinamikoak

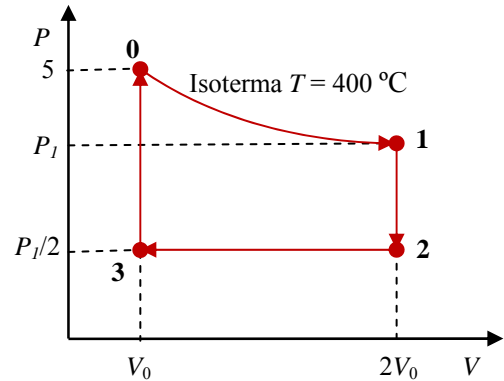
3.D- Zilindro itxi baten barruan, gas ideal baten 2 kmol dauzkagu. 20 °C-ko eta 3 bar-eko egoetatik politropikoki konprimitzen dugu 15 bar-eko egoeraraino. Berretzaile politropikoa $n = 1,2$ da. Kalkulatu gasak egindako lana. Datuak: $\bar{R} = 8,314 \text{ kJ}/(\text{kmol K}) = 0,082 \text{ atm}\cdot\text{l}/(\text{mol K})$.

Ebazpena: Hasierako bolumena: $P_1 V_1 = n \bar{R} T_1 \rightarrow V_1 = 16,24 \text{ m}^3$.

Amaierakoa: $P_1 \cdot V_1^{1,2} = P_2 \cdot V_2^{1,2} \rightarrow V_2 = 4,25 \text{ m}^3$.

Gasak egindako lana: $W = \int_{V_1}^{V_2} P dV = \frac{(P_2 V_2 - P_1 V_1)}{(1-n)} = -7.492,5 \text{ kJ}$.

3.E- Gas ideal baten mol batek ($m_{\text{mol}} = 28,97 \text{ g/mol}$, $c_v = 0,764 \text{ kJ}/(\text{kg K})$) irudiko ziklo termodinamiko egiten du. Zikloaren hasieran, gasaren bolumena bikoizten da 400 °C-ko hedapen isotermiko batean, 5 atm-ko presiotik abiatuta. Jarraian, presio jaitsiera gertatzen da amaierako presioa hasierakoaren erdia izan arte. Zikloa prozesu isobarikoa eta hasierako 5 atm-ko presioraino bolumen konstanteko presio iguera batekin ixten da. Aurkitu:



- egoera guztien presioa, bolumena eta tenperatura.
- Ziklo batean egindako lana.
- Bero-transferentziaren balioa prozesu bakoitzean.

Ebazpena: a) $V_0 = \left(\frac{n \bar{R} T_0}{P_0} \right) = \left(\frac{1 \cdot 8,314 \cdot 673}{5 \cdot 1,013 \cdot 10^5} \right) = 0,01105 \text{ m}^3$.

$V_1 = 2V_0 = 0,0221 \text{ m}^3 = V_2$.

$P_0 \cdot V_0 = P_1 \cdot V_1 \rightarrow P_1 = \frac{1}{2} P_0 = 2,5 \text{ atm}$.

$P_2 = 1,25 \text{ atm} = P_3$.

$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \rightarrow T_2 = 336,5 \text{ K}$.

$V_3 = V_0 = 0,01105 \text{ m}^3$.

$\frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3} \rightarrow T_3 = 168,25 \text{ K}$.

b) $W_{01} = \int P dV = n \bar{R} T \ln(V_1 / V_0) = 1 \cdot 8,314 \cdot 673 \cdot \ln 2 = 3,8784 \text{ kJ}$.

$W_{12} = \int P dV = P_2 \cdot (V_3 - V_2) = -1,3988 \text{ kJ}$.

$W = W_{01} + W_{12} + W_{23} + W_{30} = 3,8788 + 0 - 1,3988 + 0 = 2,4796 \text{ kJ}$.

3.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa – Fluido termodinamikoak

$$c) Q_{01} = \Delta U_{01} + W_{01} = 0 + 3,8784 = 3,8784 \text{ kJ}.$$

$$Q_{12} = m \cdot c_v \cdot (T_2 - T_1) = -7,4478 \text{ kJ}.$$

$$Q_{23} = \Delta U_{23} + W_{23} = m \cdot c_v \cdot (T_3 - T_2) + W_{23} = -5,1227 \text{ kJ}.$$

$$Q_{30} = m \cdot c_v \cdot (T_0 - T_3) = 11,1717 \text{ kJ}.$$

$$Q = Q_{01} + Q_{12} + Q_{23} + Q_{30} = 2,4796 \text{ kJ}.$$

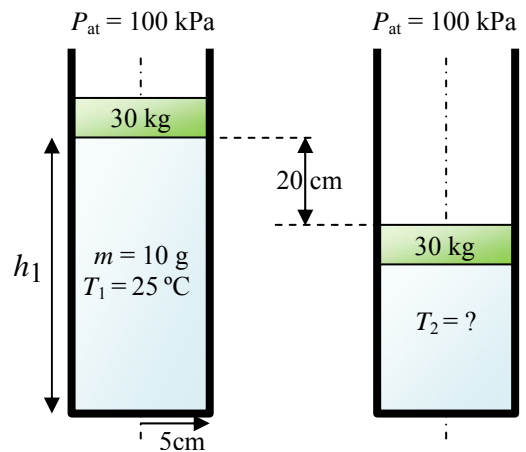
	P(atm)	T(K)	V(L)	Q_{n-n+1} (kJ)	W_{n-n+1} (kJ)
0	5	673	11,05	3,878	3,878
1	2,5	673	22,1	-7,448	0
2	1,25	336,5	22,1	-5,123	-1,399
3	1,25	168,25	11,05	11,172	0
				2,4796	2,4796

3.F- 10 gramoko aire-masa 25 °C-tan dago 5 cm-ko erradiodun zilindroaren barruan. Marruskadurarik gabe higitzen den 30 kg-ko enbolo baten bidez konprimiturik dago (ikus alboko irudia). Eguratsaren presioa 100 kPa-koa da. $c_v = 0,721 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; $R = 0,287 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

a) Aurkitu enboloaren hasierako altuera h_1 .

b) Zilindroaren barruko airea enboloa 20 cm jaitsi arte hozten bada, zein izango da aireak egindako lana prozesu horretan?

c) Hozketa gertatu eta gero, zein da airearen temperatura? Zein bero-transferentzia gertatu da?



$$\text{Ebazpena: a) } h_1 = \frac{0,010 \cdot 0,287 \cdot 298}{\pi \cdot 0,05^2 \cdot \left(100 + \left(\frac{30 \cdot 9,8}{\pi \cdot 0,05^2}\right) \cdot 10^{-3}\right)} = 0,792 \text{ m} = 79,2 \text{ cm}.$$

$$b) W_{12} = \left(100 + \left(\frac{30 \cdot 9,8}{\pi \cdot 0,05^2}\right) \cdot 10^{-3}\right) \cdot \pi \cdot 0,05^2 \cdot (-0,20) = -0,2159 \text{ kJ} = -215,9 \text{ J}.$$

$$c) T_2 = \frac{\left(100 + \left(\frac{30 \cdot 9,8}{\pi \cdot 0,05^2}\right) \cdot 10^{-3}\right) \cdot \pi \cdot 0,05^2 \cdot 0,592}{(0,010 \cdot 0,287)} \approx 222,6 \text{ K} = -50,35 \text{ }^\circ\text{C}.$$

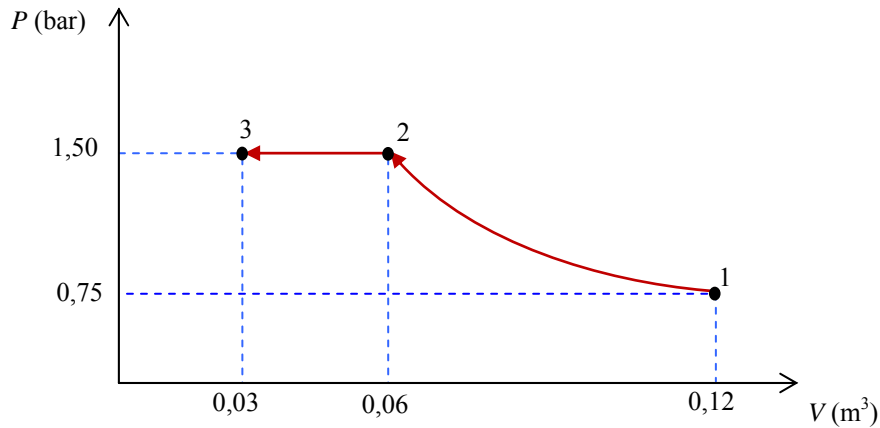
$$Q = 0,010 \cdot 0,721 \cdot (223 - 298) + (-0,216) = -0,7596 \text{ kJ} = 759,6 \text{ J}.$$

3.G- Aire-masa batek, hasieran 0,75 bar, 1.000 K eta 0,12 m³-ko bolumena betetzen duena, bi prozesu jasaten ditu. Lehenengoan, airea isotermikoki konprimitzen da bere bolumena erdia izan arte. Jarraian prozesu isobarikoa jasaten du bolumena berriro erdia izan arte. Marraztu prozesu osoa P-V diagrama batean.

3.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa – Fluido termodinamikoak

Kalkulatu bi prozesuetan egindako lan osoa eta transferitzen den bero osoa, kJ-tan. Datuak: $R = 0,287$ kJ/(kg·K); $c_p = 1,005$ kJ/(kg·K).

Ebazpena:



$$\text{Aire-masaren kantitatea: } m = \left(\frac{P_1 V_1}{RT_1} \right) = \left(\frac{75 \cdot 0,12}{0,287 \cdot 1.000} \right) = 31,35885 \text{ mg}.$$

Prozesu isotermikoan zehar egindako lana:

$$W_{12} = \int_{V_1}^{V_2} P dV = P_1 \cdot V_1 \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = P_1 \cdot V_1 \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right) = 75 \cdot 0,12 \ln \left(\frac{0,06}{0,12} \right) = -6,238 \text{ kJ} = Q_{12}.$$

$$2. \text{ egoerako presioa: } P_2 = \left(\frac{V_1}{V_2} \right) \cdot P_1 = 2 \cdot 0,75 = 1,50 \text{ bar}.$$

Prozesu isobarikoan:

$$W_{23} = P_2 \cdot (V_3 - V_2) = 150 \cdot (0,03 - 0,06) = -4,500 \text{ kJ}.$$

$$T_3 = \left(\frac{V_3}{V_2} \right) \cdot T_2 = 0,5 \cdot 1.000 = 500 \text{ K}.$$

$$Q_{23} = m \cdot c_p \cdot (T_3 - T_2) = 31,35885 \cdot 10^{-3} \cdot 1,005 \cdot (500 - 1.000) = -15,758 \text{ kJ}.$$

Prozesu osoaren lana eta beroa:

$$W_{\text{osoa}} = W_{12} + W_{23} = -6,238 - 4,500 = -10,738 \text{ kJ}.$$

$$Q_{\text{osoa}} = Q_{12} + Q_{23} = -6,238 - 15,758 = -21,996 \text{ kJ}.$$

3.H- 50 litroko ontzi zurrin eta adiabatiko batean airea dago 20 °C-tan eta 1 atm-ko presiopean. Aireak 10 Ω-ko erresistentzia baten bidez berotzen da, 0,3 A-ko intentsitatea ordu batean zehar pasatzen delarik. Aurkitu airearen amaierako presioa (atm) eta temperatura (°C). Datuak: $c_p=1$ kJ/(kg K), $R = 0,287$ kJ/(kg K).

$$\text{Ebazpena: } \Delta U = -W = -(\dot{W} \cdot \Delta t) = -[(-R \cdot I^2) \cdot \Delta t] = m \cdot c_v \cdot (T_2 - T_1) = m \cdot (c_p - R) \cdot (T_2 - T_1).$$

$$T_2 = T_1 + \left(\frac{R \cdot I^2 \cdot \Delta t}{m \cdot (c_p - R)} \right).$$

3.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa – Fluido termodinamikoak

$$R \cdot I^2 = 10 \cdot 0,3^2 = 0,9 \text{ W} \rightarrow (R \cdot I^2) \cdot \Delta t = 0,9 \cdot 3.600 \cdot 10^{-3} = 3.240 \text{ J}.$$

$$\text{Airearen masa: } m = \left(\frac{P_1 \cdot V}{R \cdot T_1} \right) = \left(\frac{101,3 \cdot 0,05}{0,287 \cdot 293} \right) = 0,06023 \text{ kg}.$$

$$\text{Amaierako tenperatura: } T_2 = 20 + \left(\frac{3.240}{0,06023 \cdot (1 - 0,287)} \right) = 95,5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

$$\text{Amaierako presioa: } P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{T_2}{T_1} \right) = 1 \cdot \left(\frac{95,5 + 273}{20 + 273} \right) \approx 1,26 \text{ atm}.$$

3.I- 1,38-ko berretzaile adiabatikoa eta 33 kg/kmol-ko masa molekularra dituen gas baten 2 kg hedatzen dira, bere bolumena bikoiztu arte. Hasieran, gasa 10 bar-etan eta 300 K-etan dago. Kalkulatu gasak egindako lana ondoko kasuetan:

- hedapena isotermikoa da.
- hedapena adiabatikoa da.
- hedapena isobarikoa da.

Irudikatu hiru kasuak P - V diagraman.

- Hiru kasuei dagozkien prozesuak ordenatu, barne-energiaren aldakuntzarik txikiena duenetik handiena duenera.
- Berdin elkarraldatutako beroarekin.

$$\text{Ebazpena: a) } W = mRT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = mRT \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right) = 2 \cdot \left(\frac{8,314}{33} \right) \cdot 300 \cdot \ln 2 = 104,78 \text{ kJ}.$$

$$\text{b) } W = kte \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V^k} = kte \cdot \left(\frac{V_2^{-k+1} - V_1^{-k+1}}{-k+1} \right) = \frac{(P_1 V_1 - P_2 V_2)}{(k-1)}.$$

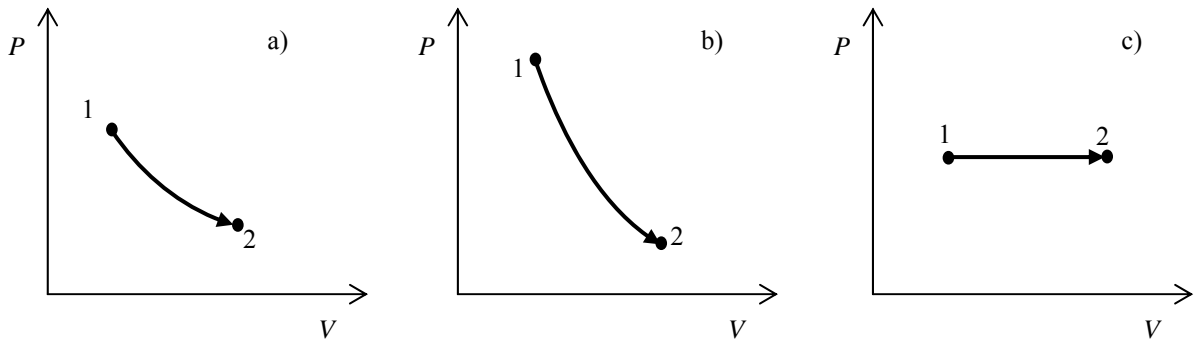
$$V_1 = \left(\frac{m \cdot R \cdot T_1}{P_1} \right) = \left(\frac{2 \cdot \frac{8,314}{33} \cdot 300}{1.000} \right) = 0,151 \text{ m}^3; V_2 = 0,302 \text{ m}^3.$$

$$P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^k = 1.000 \cdot \left(\frac{1}{2^{1,38}} \right) = 384,2 \text{ kPa}.$$

$$W = \frac{(1.000 \cdot 0,151 - 384,2 \cdot 0,302)}{(1,38 - 1)} = 92,14 \text{ kJ}.$$

$$\text{c) } W = P \cdot (V_2 - V_1) = 1.000 \cdot (0,302 - 0,151) = 151,2 \text{ kJ}.$$

3.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa – Fluido termodinamikoak



d) Adiabatikoa ($Q = 0$; $W > 0 \rightarrow \Delta U < 0$), isotermikoa ($\Delta U = 0$) eta isobarikoa ($\Delta U > 0$).

$$\Delta U_c (402,6 \text{ kJ}) > \Delta U_a (0 \text{ kJ}) > \Delta U_b (-92,14 \text{ kJ}).$$

e) Adiabatikoa ($Q = 0$), isotermikoa ($\Delta U = 0$; $Q = W$) eta isobarikoa ($\Delta U > 0$; $Q = \Delta U + W$).

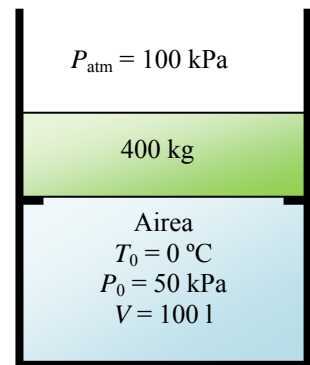
$$Q_c (553,69 \text{ kJ}) > Q_a (106,5 \text{ kJ}) > Q_b (0 \text{ kJ}).$$

3.J- 30 cm-ko erradiodun gordailu zilindrikoaren barruan airearen 100 litro daude baldintza hauetan: 0°C eta 50 kPa . Airearen berotzen da 400 kg -ko enbologia higitzen hasi arte (ikus alboko irudia).

a) Zein izango da airearen tenperatura aldiune horretan?

b) Zenbateko beroa eman zaio sistemari?

Datuak: $M_{\text{airea}} = 28,97 \text{ kg/kmol}$; $c_p = 1,001 \text{ kJ/(kg K)}$; $c_v = 0,714 \text{ kJ/(kg K)}$; $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.



Ebazpena: a) $P' = 100 + \left(\frac{400 \cdot 9,8 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot 0,30^2} \right) = 113,864 \text{ kPa} .$

$$\frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{P' V'}{T'} \rightarrow (V' = V_0) \rightarrow T' = \left(\frac{P'}{P_0} \right) \cdot T_0 = \left(\frac{113,864}{50} \right) \cdot 273 \approx 622 \text{ K} .$$

b) Airearen masa: $m = \frac{PV}{\left(\frac{R}{M} \right) \cdot T} = \frac{50 \cdot 0,1}{\left(\frac{8,314}{28,97} \right) \cdot 273} = 0,0638 \text{ kg} .$

$$Q = 0,0638 \cdot 0,714 \cdot (622 - 273) \approx 15,9 \text{ kJ}$$

3.K- $0,1 \text{ m}^3$ -ko bolumena duen zilindro pistoidun batean oxigenoa dago 300 kPa -etan eta 100°C -tan. Oxigenoa $n = 1,2$ berretzaileko prozesu politropikoan konprimitzen da, 200°C -ko azken tenperaturaraino. Kalkuluetarako datuak: $c_v = 0,1573 \text{ kcal/(kg }^\circ\text{C)}$; $c_p = 0,2193 \text{ kcal/(kg }^\circ\text{C)}$. Kalkula ezazu prozesuan zeharreko bero-elkarraldatzea.

Ebazpena: Oxigenoaren masa: $m = \frac{P_1 V_1}{RT_1} = 0,3098 \text{ kg} .$

Prozesuan egindako lana: $W = \int P dV = \frac{(P_2 \cdot V_2 - P_1 \cdot V_1)}{(1-n)} = \frac{m \cdot R \cdot (T_2 - T_1)}{(1-n)} = -40,214 \text{ kJ} .$

3.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa – Fluido termodinamikoak

Barne-energiaren aldaketa: $\Delta U = m \cdot c_v \cdot (T_2 - T_1) = 20,50 \text{ kJ}$.

$$Q = \Delta U + W = -19,81 \text{ kJ}.$$

Ariketa beste era honetan ere egin daiteke. Lehenengo prozesuaren bero espezifikoak kalkulatu behar da:

$$c = \left(\frac{k-n}{1-n} \right) \cdot c_v = -0,6393 \frac{\text{kJ}}{(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})}.$$

Ondoren, formula hau erabili behar da:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T = 0,3098 \cdot (-0,6393) \cdot 100 = -19,81 \text{ kJ}.$$

3.L- Erabat isolatutako gordailu zurrun baten barruan, 100 kPa-tan dagoen likido-lurrun ur-nahaste baten 5 kg dago. Hasieran, masaren hiru laurdenak likido egoeran daude. Gordailuan dagoen erresistentzia elektriko bat 110 V-eko iturri batekin lotzen da. Horrela, etengailua sakatzean erresistentziatik 8 A-ko korronte elektrikoa pasatuko da.

- Zenbat bero xurgatuko du sistemak gordailuaren likido guztia lurrundu arte?
- Zenbat denbora igaroko da hori gertatu arte?
- Irudikatu prozesua P - V diagrama batean.

Ebazpena: a) $x_1 = \frac{1}{4} = 0,25$.

$$v_1 = (1-x_1) \cdot v_f + x_1 \cdot v_g = 0,424 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

$$u_1 = (1-x_1) \cdot u_f + x_1 \cdot u_g = 939,54 \text{ kJ/kg}.$$

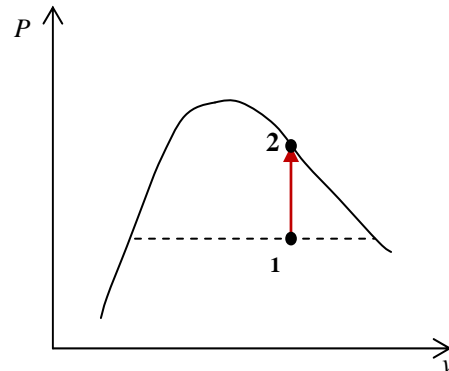
$$v_2 = v_1 = 0,424 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

Interpolatuz: $u_2 = 2.556,7 \text{ kJ/kg}$.

$$Q = m \cdot (u_2 - u_1) = 8.086 \text{ kJ}.$$

$$\text{b) } Q = I^2 \cdot R \cdot t = I^2 \cdot \left(\frac{V}{I} \right) \cdot t = I \cdot V \cdot t.$$

$$t = 9.188 \text{ s} = 2,55 \text{ h}.$$



3.M- Gordailu zurrun eta itxi batek ur likidoa eta ur-lurrun nahaste bifasiko bat dauka presio atmosferikoan ($\approx 1 \text{ bar}$). Berotzean nahastea puntu kritikora iristen da.

- Zeintzuk dira hasieran likidoaren eta lurrunaren proportzio bolumetrikoak?
- Zein bero-kantitate eman zaio sistemari gordailuak 65 cm^3 -ko bolumena badu?

Ebazpena: a) Puntu kritikokoaren bolumen espezifikoak: $v_2 = v_1 = 0,003155 \text{ m}^3/\text{kg}$.

Hasierako egoeraren titulua:

3.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa – Fluido termodinamikoak

$$v_1 = 0,0010438 \cdot (1 - x_1) + 1,6940 \cdot x_1 \rightarrow x_1 = 0,001247.$$

$$\text{Hasierako likidoaren proportzio bolumentrikoa: } v_L = (1 - x_1) \cdot v_f \rightarrow \frac{v_L}{v_1} = \frac{(1 - x_1) \cdot v_f}{v_1} = \% 33,02.$$

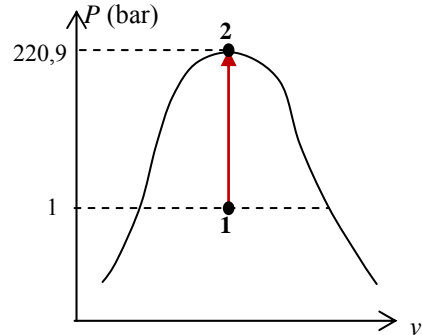
$$\text{Hasierako lurrunarena: } v_v = x_1 v_g \rightarrow \frac{v_v}{v_1} = \frac{x_1 v_g}{v_1} = \% 66,98.$$

$$\text{b) Uraren masa: } m = \frac{V}{v_1} = 2,0602 \cdot 10^{-2} \text{ kg}.$$

$$u_1 = (1 - x_1) \cdot u_f + x_1 \cdot u_g = 419,97 \text{ kJ/kg}.$$

$$u_2 = 2.029,6 \text{ kJ/kg}.$$

$$Q = m \cdot (u_2 - u_1) = 33,162 \text{ kJ} = 7,92 \text{ kcal}.$$

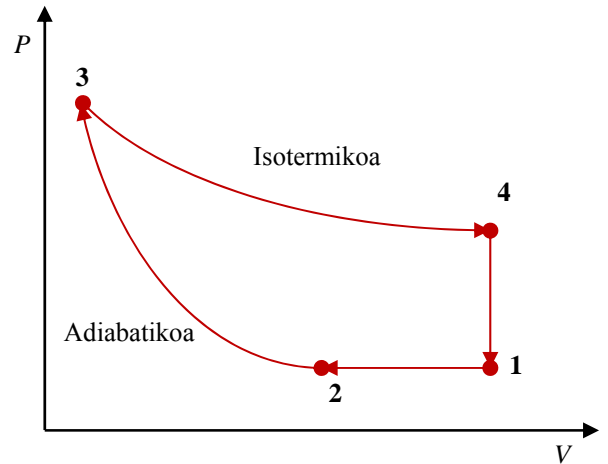


3.N- Alboko irudiak gas idealeko bi molekul egiten duten zikloa irudikatzen du. Datu hauek ezagunak dira: $P_1 = 1 \text{ atm}$; $T_1 = 5 \text{ }^\circ\text{C}$; $T_2 = -6 \text{ }^\circ\text{C}$; $P_3 = 40 \text{ atm}$; $\bar{R} = 0,0821 \text{ atm l/(mol K)}$; $k = 1,4$. Kalkulatu:

a) zikloaren puntu guztietako koordenatuak: $V(\text{l})$, $P(\text{atm})$, $T(\text{K})$.

b) 2-3 prozesuko barne-energiaren aldaketa, kalorietan.

c) 3-4 prozesuan gasak egindako lana, kalorietan.



Ebazpena: a) $PV = n\bar{R}T$.

$$P_2 \cdot V_2^k = P_3 \cdot V_3^k.$$

	1	2	3	4
$P \text{ (atm)}$	1	1	40	2,76
$V \text{ (l)}$	45,59	43,79	3,14	45,59
$T \text{ (K)}$	278	267	766	766

$$\text{b) } \Delta U_{23} = -W = -\frac{(P_3 V_3 - P_2 V_2)}{(1 - k)}.$$

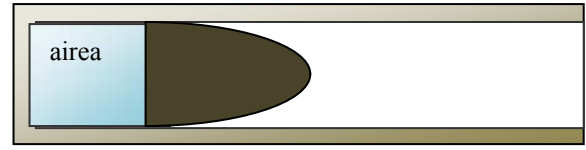
$$\Delta U_{23} = 20,718 \text{ kJ} = 4,948 \text{ kcal}.$$

$$\text{c) } W_{34} = \int_{V_3}^{V_4} P dV = n\bar{R}T \ln\left(\frac{V_4}{V_3}\right).$$

3.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa – Fluido termodinamikoak

$$W_{34} = 8,139 \text{ kcal} = 34,143 \text{ kJ.}$$

3.0- Aire konprimituko pistola batek airea dauka 1 cm^3 -ko zilindro txiki batean, 10^6 Pa eta $27 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan; 15 g -ko balak pistoi modura jotzen du, hasieran perno batek eusten duelarik. Hori askatzean airea prozesu adiabatikoan hedatzen da. Bala pistolatik ateratzen denean presioa 10^5 Pa da, eta bolumena 5 cm^3 . Airearen datuak: $c_V = 720 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$; $R = 287 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$. Ohartu prozesua ez dela itzulgarria. Kalkulatu:



- a) barruko aireak egindako lana, J-tan.
 b) Presio atmosferikoa 10^5 Pa dela jakinik, balaren irteerako abiadura.

Ebazpena: a) Amaierako tenperatura: $\left(\frac{10^6 \cdot 1}{300}\right) = \left(\frac{10^5 \cdot 5}{T_2}\right) \rightarrow T_2 = 150 \text{ K}.$

Barruko airearen masa: $m = \left(\frac{P \cdot V}{R \cdot T}\right) = \left(\frac{10^6 \cdot 10^{-6}}{287 \cdot 300}\right) = 1,1614 \cdot 10^{-5} \text{ kg}.$

Prozesua adiabatikoa da: $Q = 0.$

$$W = -m \cdot c_V \cdot (T_2 - T_1) \rightarrow W = -(1,1614 \cdot 10^{-5}) \cdot 720 \cdot (150 - 300) = 1,254 \text{ J}.$$

b) $W_{\text{atm}} = -10^5 \cdot (5 - 1) \cdot 10^{-6} = -0,4 \text{ J}.$

$$W_{\text{osoa}} = 1,254 - 0,4 = 0,85436 \text{ J} = \frac{1}{2} \cdot 0,015 \cdot v^2 \rightarrow v = 10,67 \text{ m/s}.$$

Oharra: Prozesua ez da kuasiestatikoa. Hala ere, eguratsaren presioak egindako lana $P \cdot \Delta V$ adierazpenarekin kalkula dezakegu arazorik gabe, presioa konstantea delako.

3.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa – Fluido termodinamikoak

ARIKETAK EMAITZEKIN

3.1- Kalkulatu ondoko likido-lurrin nahaste bifasikoen tituluak:

- a) Ura 200 °C-tan eta 0,1 m³/kg-ko bolumen espezifikorekin.
- b) R12 hozgarria 2,0 bar-etan eta 0,07 m³/kg-ko bolumen espezifikorekin.
- c) R134a hozgarria -40 °C-tan eta 0,3569 m³/kg-ko bolumen espezifikorekin.

Emaidzak: 0,7830; 0,8366; 1.

3.2- Ur-lurrin asezko 5 kg gordailu zurrin baten barruan daude, 40 bar-eko hasierako presiopean. Uraren presioa 20 bar-etaraino eroriko da ingururako bero-askapenaren ondorioz. Aurki ezazu gordailuaren bolumena, m³-tan, eta amaierako titulu.

Emaidzak: 0,2489 m³; % 49,4.

3.3- Gordailu itxi eta zurrin batek lurrina dauka, hasieran 15 bar-etan eta 240 °C-tan. Ingururako bero-askapenaren ondorioz tenperatura 20 °C-tara jaitsiko da. Kalkulatu, amaierako egoerarako: a) presioa kPa-tan; b) kondentsatuko den masa osoaren frakzioa; c) likido eta lurrin aseak betetako bolumen-portzentajeak.

Emaidzak: a) 2,339 kPa; b) % 99,745; c) $v_f = % 0,6738$, $v_g = % 99,37$.

3.4- R-134a hozgarriaren masa batek presio konstanteko prozesua jasango du, -18,8 °C-ko lurrin asetik 20 °C-ko azken tenperaturaraino. Kalkula ezazu prozesurako lana, kJ/kg-tan.

Emaidza: 3'598 kJ/kg.

3.5- Ondo isolatutako gordailu zurrin batek 3 kg ur-lurrin hezea dauka, 0,84 tituluduna eta 200 kPa-eko presioan. Paletadun gurpil baten bidez nahastea eragin da, lurrin ase soilik izan arte. Aurkitu lanaren bidez urari emandako energia, kJ-tan.

Emaidza: -991,6 kJ.

3.6- Zilindro pistoidun baten barruko R12-ren masa batek presio konstanteko prozesua jasango du, 8 bar eta 50 °C-ko hasierako egoeratik abiatuta, lurrin asearen amaierako egoeraraino. Kalkula itzazu transferitutako masa-unitateko beroa eta lana, kJ/kg-tan.

Emaidzak: -12,81 kJ/kg; -1,752 kJ/kg.

3.7- 2 kg H₂O-z osatutako sistemak hurrengo prozesuez eratutako zikloa burutu du:

1→2 : $P \cdot v = \text{cte}$ deneko hedapena, 100 bar-eko lurrin asetik 10 bar-eraino.

2→3 : presio konstanteko prozesua, $v_3 = v_1$ bete arte.

3→1 : bolumen konstanteko beroketa.

Irudika ezazu zikloa $P-v$ eta $T-v$ diagrametan. Kalkulatu zikloko lan netoa eta prozesu bakoitzean izandako bero-transferentzia, dena kJ-tan.

Emaidzak: 505,8 kJ; 642,7 kJ; -3.383,9 kJ; 3.246,8 kJ.

3.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa – Fluido termodinamikoak

3.8- Aire kilomol batek ($M = 28,97 \text{ kg/kmol}$) 25 m^3 -ko bolumena betetzen du 100 kPa -eko presioan. Aurki ezazu tenperatura, K -etan, eta dentsitatea, kg/m^3 -tan.

Emaitzak: $300,7 \text{ K}$; $1,16 \text{ kg/m}^3$.

3.9- Gasen arteko nahasi baten masa molekularra 33 kg/kmol da eta hasieran 3 bar -etan eta 300 K -etan dago, eta $0,1 \text{ m}^3$ -ko bolumena betetzen du. Gasa $0,2 \text{ m}^3$ -ko bolumeneraino hedatuko da $P \cdot V^{1,3} = \text{cte.}$ betetzen den prozesu batean. Bolumen konstanteko bero espezifikoa honela aldatzen da tenperaturarekin:

$$c_v = 0,6 + (2,5 \cdot 10^{-4}) \cdot T,$$

non T K -etan eta c_v $\text{kJ}/(\text{kg K})$ -tan dauden. Aurki itzazu:

- gas-masa, kg -tan.
- Amaierako presioa, bar -etan.
- Amaierako tenperatura, K -etan.
- Bero eta lan-transferentziak, kJ -tan.

Emaitzak: a) $0,397 \text{ kg}$; b) $1,218 \text{ bar}$; c) $243,6 \text{ K}$; d) $3,85 \text{ kJ}$; $18,8 \text{ kJ}$.

3.10- Bi gordailu balbula batez konektatuta daude. Batak 2 kg karbono-monoxido ($c_v \approx 0,745 \text{ kJ}/(\text{kg K})$) dauka $77 \text{ }^\circ\text{C}$ eta $0,7 \text{ bar}$ -etan. Besteak gas berdinarekin 8 kg dauka $27 \text{ }^\circ\text{C}$ eta $1,2 \text{ bar}$ -etan. Balbula zabaldua gasak nahastu egingo dira, ingurutik bero-transferentziaren bidezko energia xurgatzen dutelarik. Amaierako oreka-egoerako tenperatura $42 \text{ }^\circ\text{C}$ -koa da. Aurki itzazu amaierako presioa, bar -etan, eta xurgatutako beroa, kJ -tan.

Emaitzak: $1,05 \text{ bar}$; $37,25 \text{ kJ}$.

3.11- 1 kg aire ($c_v = 0,721 \text{ kJ}/(\text{kg K})$), hasieran 5 bar eta 350 K -etan, eta 3 kg CO_2 ($c_v = 0,790 \text{ kJ}/(\text{kg K})$), hasieran 2 bar eta 450 K -etan, ondo isolatutako gordailu zurrin baten aurkako aldeetan daude kokatuta, bien artean aske labain daitekeen horma diatermikoa dagoelarik. Sistema osoa orekara iritsiko denean, zeintzuk izango dira tenperatura, K -etan, eta presioa, bar -etan?

Emaitzak: $426,7 \text{ K}$; $2,468 \text{ bar}$.

3.12- Diesel motor bat martxan jartzeko erabiltzen den $0,6 \text{ m}^3$ -ko gordailua betetzeko altzairuzko botiletan pilatutako aire konprimitua erabiltzen da. Botila bakoitzak $0,03 \text{ m}^3$ aire konprimitu dauka 100 atm -tan.

- Temperaturak konstante irauten du $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan. Zenbat botila behar dira gordailuaren presioa 17 atm -ra eramateko?
- Zein da gordailuan lortutako benetako presioa?
- Zein aire-kantitate atera behar da gordailutik presioa 8 atm -ra eta tenperatura $0 \text{ }^\circ\text{C}$ -ra jaisteko?

Emaitzak: a) 4 ; b) $17,5 \text{ atm}$; c) $6,4 \text{ kg}$.

3.13- Zilindro pistoidun adiabatiko batek $0,3 \text{ kg}$ aire dauka ($c_p \approx 1 \text{ kJ}/(\text{kg K})$), hasieran 300 K eta 3 bar -etan. Gasari energia ematen zaio sistemaren barruan dagoen erresistentzia batetik 5 A -ko korronte elektrikoa 30 segundoz pasaraziz. Gasa kuasiestatikoki hedatzen da presio konstantez bolumena bikoiztu arte. Erresistentziaren balioa kalkula ezazu.

Emaitza: 120Ω .

3.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa – Fluido termodinamikoak

3.14- Gas baten barne-energia espezifikoa honela adierazten da: $u(\text{kcal/kg}) = 472 + 67 \cdot P \cdot v$, non P kg/cm^2 -tan eta v m^3/kg -tan dauden. Gas horren prozesu adiabatiko kuasiestatikoan betetzen den $P \cdot v^k = \text{cte}$ prozesuko k berretzailea kalkula ezazu.

Emitza: 1,35.

3.15- Gas ideal batean $R = 28,2$ $\text{kgm}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ da, eta $k = 1,384$.

a) Zeintzuk dira gas horren c_p eta c_v -ren balioak?

b) $5,25$ kg/cm^2 eta 27 $^\circ\text{C}$ -tan, gas horren zein masak beteko luke $0,42$ m^3 -ko bolumena?

c) Bolumen konstante horretan $7,5$ kcal ematen bazaio, zeintzuk izango dira amaierako presioa eta tenperatura?

Emitzak: a) $0,172$ $\text{kcal}/(\text{kg K})$; $0,238$ $\text{kcal}/(\text{kg K})$; b) $2,6$ kg ; c) $5,51$ kg/cm^2 ; 44 $^\circ\text{C}$.

3.16- U itxurako hodia merkurioz beterik dago partzialki. Bere ezkerreko aldea, 1 cm^2 -ko sekziioduna, estali egiten da goiko muturrean. Presio atmosferikoa 75 cm Hg da. Itxita geratu den aire zutabeari oso poliki beroa ematen zaio, bere luzera 60 cm -koa izan arte.

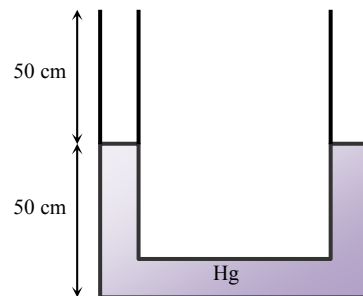
a) Hasierako tenperatura 300 K bada, zein da amaierako tenperatura?

b) Hasierako eta amaierako tenperaturei dagozkien isotermikoak eta ezkerreko aire zutabeak jasandako bilakaerari dagokion kurba marraz itzazu P - V diagraman.

c) Prozesu horretan emandako beroa kalkula ezazu ($c_v = 0,72$ $\text{kJ}/(\text{kgK})$).

d) Adierazi bero hori P - V diagraman.

Emitzak: a) 456 K ; b) $P(\text{cm Hg}) = 2V(\text{cm}^3) - 25$; c) $7,65$ J .



3.17- Irudiko ontziaren hasierako bolumena 50 litrokoa da eta presioa kanpokoaren berdina, 760 mm Hg . Barruan hutsa sortu nahi da, $0,01$ atm -ko presioraino helduz. Horretarako, ondoko prozedura erabiltzen da. Lehenengo, balbula zabaltzen da eta enboloa eskuinerantz desplazatzen da amaierako posizioraino. Ondoren, balbula ixten da eta enboloa ezkererantz desplazatzen da berriro hasierako posizioraino. Bi desplazamenduak kuasiestatikoki eta isotermikoki gertatzen direla jakinik, enboloa desplazatzen duen eragileak egindako lan netoa kalkula ezazu.

Emitza: $4,781$ kJ .

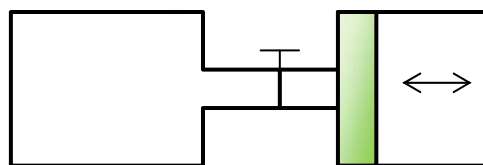
3.18- Gas ideal bat $P \cdot V^\alpha = \text{cte}$ erlazioa betetzen duen prozesua burutzen du, (P_1, V_1, T_1) egoeratik (P_2, V_2, T_2) egoerara.

a) Frogatu $\alpha \neq 1$ kasuan, lana adierazpen honen bidez kalkula daitekeela:

$$W = \left(\frac{mR}{1 - \alpha} \right) \cdot (T_2 - T_1).$$

b) Zer gertatzen da $\alpha = 1$ kasuan? Aurkitu $\alpha = 1$ kasuan lanari dagokion adierazpen zuzena.

Emitza: b) $W = mRT \ln(V_2/V_1)$.



3.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa – Fluido termodinamikoak

3.19- Zilindro pistoidun baten barruko aire-masa bat 4 bar-eko presiotik 1 bar-eko presioraino hedatzen da kuasiestatikoki, prozesuan zehar presioa eta bolumenaren arteko erlazioa ondokoa izanik: $P = 8 - 2V$ non P bar-etan eta V litroetan dauden. Airearen bolumen konstanteko bero espezifikoa $0,718 \text{ kJ}/(\text{kgK})$ eta masa molekularra $28,97 \text{ kg}/\text{kmol}$ badira, kalkula ezazu hedapenean inguruarekin elkarraldatutako beroa. Gasen konstante unibertsala: $8,314 \text{ kJ}/(\text{kmol K})$.

Emaitza: $-750,837 \text{ J}$.

3.20- Lenoir motorra gaur egungo gasolina motorren aitzindaria izan zen. Lenoir motor batean aire masa bat ($c_p = 1,005 \text{ kJ}/(\text{kg K})$; $c_v = 0,718 \text{ kJ}/(\text{kg K})$) ziklo termodinamiko hau burutzen du:

1-2: Aireak isokorikoki berotzen da. $P_1 = 100 \text{ kPa}$; $T_1 = 300 \text{ K}$; $T_2 = 3.000 \text{ K}$.

2-3: Aireak adiabatikoki hedatzen da hasierako bolumena bikoiztu arte.

3-4: Aireak hasierako presioaren balioraino hozten da isokorikoki.

4-1: Aireak isobarikoki konprimitzen da hasierako egoeraraino.

a) Kalkulatu motorrak xurgatutako eta askatutako beroak, aire kg bakoitzeko.

b) Kalkulatu motorrak aire kg bakoitzeko ekoiztutako lana.

Emaitzak: a) $1.938,6 \text{ kJ}/\text{kg}$; $-1.503,1 \text{ kJ}/\text{kg}$; b) $435,5 \text{ kJ}/\text{kg}$.

3.21- Gordailu batek CO_2 karbono-dioxidoren $0,3 \text{ kmol}$ dauka. Gasak okupatzen duen bolumena $2,5 \text{ m}^3$ da. Aurki ezazu CO_2 -ren masa kg-tan eta bolumen molarra m^3/kmol -etan.

Emaitzak: $13,2 \text{ kg}$; $8,33 \text{ m}^3/\text{kmol}$.

3.22- J itxurako beirazko tutu bat daukagu, non ezker muturra itxita eta eskuinekoa irekita dauden. Eskuineko zulotik merkurioa isurtzen da emeki, aire osoa ezkerrekoan harrapatuta gelditurik. Zein merkurio-altuera sar daiteke gainezka egin gabe? Adar luze eta laburraren luzerak 1 m eta $0,5 \text{ m}$ dira, hurrenez hurren. Hondoaren kurbadura mespreza ezazu edozein kalkulutarako. Presio atmosferikoa 75 cm Hg da.

Emaitza: 75 cm .

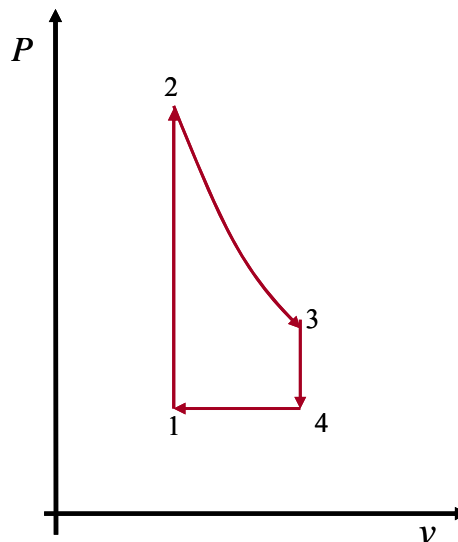
3.23- $27 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan dagoen hidrogeno kilogramo erdia era itzulgarrian hedatzen da ondoko erlazioaren arabera: $PV^n = \text{kte}$. Prozesuan hidrogenoaren bolumena bikoizten da, azken tenperatura $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ izanik. Kalkula ezazu n -ren balioa.

Emaitza: $1,245$.

3.24- Lata huts bat, 15 cm -ko altueraduna eta $7,5 \text{ cm}$ -ko diametroaduna, mutur batean zabalik eta bestean itxita dago. Lata oso astiro murgiltzen da uretan ($\rho = 1.000 \text{ kg}/\text{m}^3$), zabalik dagoen muturra beherantz jarrita. Itxita dagoen muturra ur-gainazaletik 3 cm behera dagoenean, zein altueraraino igoko da ura lataren barruan? Presio atmosferikoa $P_0 = 101.234 \text{ Pa}$ da. Prozesua tenperatura konstantean gertatzen da.

Emaitza: $0,253 \text{ cm}$.

3.25- $0,1 \text{ m}^3$ -ko ontzi zurrun eta itxi bat bi gelatan banaturik dago aske labain daitekeen pistoi adiabatiko batez. Ontziaren hormak adiabatikoak dira alde guztietatik, eskuineko horma izan ezik. Hasieran bi gelek



3.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa – Fluido termodinamikoak

bolumen bera hartzen dute. Ezkerrekoan ur-lurrun hezea daukagu 7 baretan eta % 90eko tituluarekin. Eskuinekoan ur-lurrun gainberotua dugu 7 bar eta 200 °C-tan; azken honek beroa askatuko du era itzulgarrian horma diatermikoan zehar, bere presioa 3,5 bar-ekoa izan arte. Pistoia ere modu itzulgarrian desplazatzen da. Kalkula itzazu amaieran bi geletan geratuko diren lurrunen tituluak.

Emaitzak: Ezkerrean $x = 0,8649$; Eskuinean $x = 0,0859$.

3.26- Zilindro itxi baten barruan, gas ideal baten 2 kmol, hasieran 20 °C-tan eta 3 bar-eko presioan, politropikoki konprimitzen dugu 15 bar-eko presioraino, berretzaile politropikoa $n = 1,2$ delarik. Kalkula ezazu gasak egindako lana. Datuak: $R = 8,314 \text{ kJ}/(\text{kmol K}) = 0,082 \text{ atm}\cdot\text{L}/(\text{mol K})$.

Emaitza: -7.494,6 kJ.

3.27- Gordailu zurrun batean 10 kg aire daude 150 kPa eta 20 °C-tan. Aire sartzeko da gordailura, bere presioa eta tenperatura 250 kPa eta 30 °C izan arte, hurrenez hurren. Kalkula ezazu gordailura sartu den aire masa, kg-tan.

Emaitza: 6,116 kg.

3.28- 0,07 m³-ko ontzi zurrun batean R-12 hozgarriaren 1 kg dago 400 kPa presioan. Hozgarria hozten da. Kalkula ezazu zein tenperaturatan hasiko den kondentsazioa.

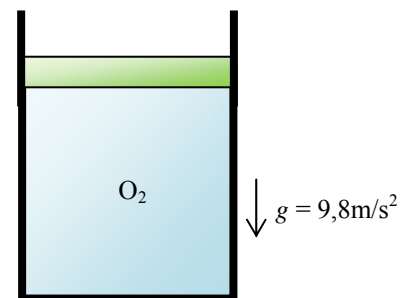
Emaitza: -7,15 °C.

3.29- Gas ideal batek hedapen askea burutzen du. Ondoko baieztapenak egiazkoak ala gezurrezkoak diren adieraz ezazu:

- a) hedapena adiabatikoa da.
- b) hedapena isotermikoa da.
- c) egindako lana positiboa da.
- d) barne-energiaren aldakuntza negatiboa da.

Emaitzak: a) Egia; b) Egia; c) Gezurra; d) Gezurra.

3.30- Ontzi zilindriko batek oxigenoa dauka 4 bar-eko presiopean, m masakoa enbolo baten ondorioz; zilindroaren zeharkako sekzioaren azalera 50 cm²-koa da. Zilindroaren kanpoaldean presio atmosferikoa 780 mm Hg-koa da. Aurki ezazu enboloaren m masa, kg-tan (mesprezatu marruskadurak).



Emaitza: 151,02 kg.

3.31- Globo baten barruko presioa diametroaren karratuarekiko proportzionala da. Globoak 2 kg amoniako dauka, 0 °C-tan eta $x = 0,6$ tituluarekin. Amaierako presioa 752,81 kPa-ekoa izan arte berotzen da. Kalkula ezazu prozesuan zehar egindako lana.

T (°C)	P (kPa)	v_f (m ³ /kg)	v_g (m ³ /kg)	h_f (kJ/kg)	h_g (kJ/kg)	s_f (kJ/kg K)	s_g (kJ/kg K)
0	429,29	0,001566	0,28940	180,36	1442,22	0,7114	5,3313
16	752,81	0,001623	0,16923	255,28	1457,16	0,9760	5,1328

Emaitza: 275,81 kJ.

3.32- 0,5 m³-ko tanke zurrun batek hidrogenoa dauka 20 °C eta 6 kg/cm²-tan; 0,5 m³-ko beste tanke zurrun batek hidrogenoa dauka 30 °C eta 1,5 kg/cm²-etan. Tanke biak lotuta daude, hasieran itxita dagoen

3.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa – Fluido termodinamikoak

balbula baten bidez. Balbula zabaltzen da eta sistemari 15 °C-tan dagoen inguruarekin oreka termikora heltzen uzten zaio. Eman amaierako presioa, kPa-etan.

Emitza: 359,08 kPa.

3.33- 4 m × 5 m × 6 m-ko dimentsioak dituen gela bat berogailu elektriko batekin berotzen da. Gelako temperatura 7 °C-tik 23 °C-raino igo nahi da 15 minututan. Presio atmosferikoa 100 kPa-eko balio konstantean mantentzen da beroketa osoan zehar. Gelatik ateratzen den aire-masa eta bero-galerak mesprezaturik, aurki ezazu berogailuak kontsumitutako potentzia, kW-tan. Airearen datuak: $c_p = 0,24$ kcal/(kg °C); 1 kmol aire = 28,96 kg.

Emitza: 2,667 kW.

3.34- Aire kilogramo bat zilindro baten barruan hedatzen da isotermikoki 400 °C-tan, hasierako eta amaierako bolumenak 300 cm³ eta 800 cm³ izanik, hurrenez hurren. Aurkitu prozesu honetan inguruarekin sistemak elkaraldatutako beroa, kJ-tan. Airearen masa molekularra: 28,97 kg/kmol.

Emitza: 189,4 kJ.

3.35- Ur-lurrin aseko 5 kg, gordailu zurrin baten barruan daude, 40 bar-eko hasierako presioaz. Uraren presioa 20 bar-eraino eroriko da ingururako bero askapenaren ondorioz. Aurki ezazu amaierako titulua.

Emitza: 0,494.

3.36- 800 litroko ontzi zurrin eta adiabatiko baten barruan airea dago 1 bar eta 20 °C-tan. Barruko airea eragingailu elektriko batez eragiten da 30 minututan, bere temperatura 65 °C-koa izan arte. Kalkula ezazu eragingailu elektrikoak aireari emandako batezbesteko potentzia, watt-etan. Airearen bero espezifikoa eta dentsitatea: $c_p \approx 1$ kJ/(kg K); $c_v \approx 0,72$ kJ/(kg K); $\rho \approx 1,28$ kg/m³.

Emitzak: -18,43 W.

3.37- Termodinamikako ikasle bat etxetik irten da egun bero batean. Irten baino lehen eta gelaren temperatura 27 °C-koa izanik, bere gelako (3 × 4 × 3 m-koa) ate eta leihoak ixten ditu eta 200 W-ko haizegailu bat konektatzen du. Gelaren barruko presioa (1 atm) konstantea mantentzen dela suposatuz eta masa-galerak mesprezaturik, itzultzean, ordu bat pasa ondoren, zein izango da gelaren temperatura? Datuak: airearen presio konstanteko bero espezifikoa: $c_p = 0,24$ kcal/(kg °C); 1 kmol aire = 28,96 kg.

Emitza: 50,69 °C.

3.38- (2003/07) Likido-lurrin nahasketako 5 kg ur, metro bateko erradioa duen zilindro-enbolo dispositibo batean 100 kPa-eko presiopean daude. Enboloaren pisua 32.057 kg-koa da. Hasieran uraren 2 kg fase-likidoan daude eta gainontzekoa lurrin-fasean. Presioa atmosferikoa 100 kPa-koa da. Sistema enboloa mugitzen hasten denera arte berotzen da.

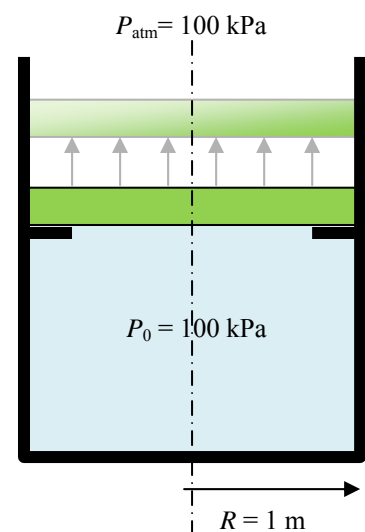
a) Zein izango da zilindroaren barne-presioa aldiune horretan?

Gero, bolumena % 20 handitu arte berotu egiten da.

b) Kalkulatu sistemaren bukaerako tenperatura.

c) Kalkulatu fluidoak egindako lana. Frogatu lan hori atmosferaren aurka eta enboloaren aurka egindako lanen batura dela.

Emitzak:



3.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa – Fluido termodinamikoak

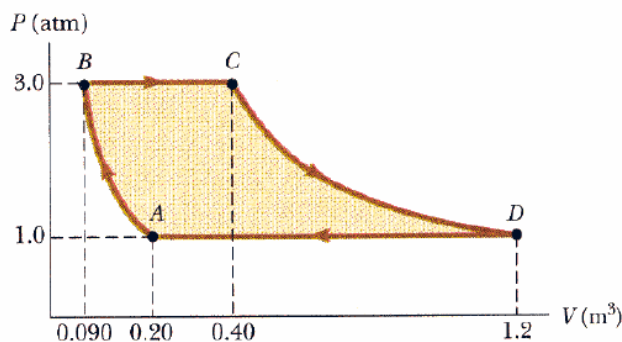
3.39- 200 L-ko ontzi zurrun batean 5 kg ur daude 150 kPa-eko presiopean. Bilatu ur-fase bakoitzaren masa.

Emaitzak: $m_{\text{urr}} = 0,168 \text{ kg}$; $m_{\text{ik}} = 4,832 \text{ kg}$.

3.40- (2003/09) 50 litroko ontzi batean airea 27 °C-tan aurkitzen da. Ontziaren barruko presio manometrikoa 3 bar-ekoa da. Balbula bat irekitzean ontziaren barrualdea eta atmosfera kontaktuan jartzen dira, ondorioz airea ihes egingo du oreka egoera lortu arte. Presio atmosferikoa 100 kPa bada eta giro-temperatura 27 °C, kalkulatu ihes egingo duen airearen masa. Datuak: $R = 8,314 \text{ kJ/kmol K}$; $m_{\text{aire}} = 28,97 \text{ kg/kmol}$.

Emaitza:

3.41- Gas-sistema batek alboko irudian adierazitako zikloa burutzen du. A egoetatik abiatuta, gasa adiabatikoki konprimitzen da B egoeraraino. Jarraian, hedapen isobariko bat gertatzen da C egoeraraino, eta bertan, 100 kJ bero-xurgapena gertatzen da. Ondoren, gasa C-tik D-ra joango da prozesu isotermiko baten bidez. Azkenik, zikloa ixteko, D eta A egoerak prozesu isobarikoa baten bidez lotzen dira, eta bertan, gasak 150 kJ-eko beroa askatzen du. Kalkulatu honako barne-energiaren aldaketa: $U_B - U_A$.

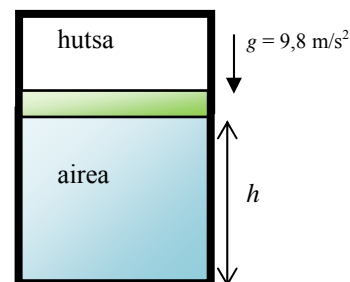


Emaitza: $U_B - U_A = 42,909 \text{ kJ}$.

3.42- Zilindro-pistoi sistema batean airea hedatzen da, 35 bar-etik 7 bar-eraino. Hedapenean honako erlazioa dago P eta T -ren artean: $P \cdot V^2 = kte$. Airearen masa 2,3 kg-koa da, eta hasierako egoeraren bolumen espezifikoak: $v_1 = 0,11324 \text{ m}^3/\text{kg}$. Airearen masa molekularra 29 g da, eta bero espezifikoak: $c_V = 0,8 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$. Kalkulatu prozesuan zehar gertatzen den bero-transferentzia kJ-etan.

Emaitza:

3.43- Irudiko pistoiaren pisua 1.000 N-ekoa da, eta azalera 50 cm². Azpian 10 g aire dago ($c_p = 1 \text{ kJ/(kg K)}$; $c_v = 0,72 \text{ kJ/(kg K)}$). 0 °C-tik abiatuta berotuko dugu airea, pistoia 10 cm igo arte. Inguruko temperatura 500 °C-koa da. Kalkula itzazu:



- h luzera.
- Amaierako temperatura.
- Emandako beroa.

Emaitzak: a) 78,347 cm; b) 307,8 K = 34,8 °C; c) 350,87 J.

3.44- Gas idealen kasuan, frogatu $P \cdot V^n = kte$ delako erlazioa betetzen duen prozesu batean bero espezifikoak hauxe dela:

$$c = \left(\frac{k - n}{1 - n} \right) \cdot c_v,$$

non $k = \frac{c_p}{c_v}$ den.

3.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa – Fluido termodinamikoak

3.45- Zilindro baten barruan, aire kilogramo bat $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ -tan hedatzen da isotermikoki, hasierako eta amaierako bolumenak 300 cm^3 eta 800 cm^3 izanik, hurrenez hurren. Aurkitu prozesu honetan inguruarekin sistemak elkaraldatutako beroa, kJ-tan. Airearen masa molekularra: $28,97\text{ kg/kmol}$.

Emitza: $189,44\text{ kJ}$.

3.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa – Fluido termodinamikoak

ONARRIZKO EKUAZIOAK

1) Masaren kontserbazio-printzipioa sistema irekietan:

$$\frac{dm_{kb}}{dt} = \dot{m}_s - \dot{m}_i.$$

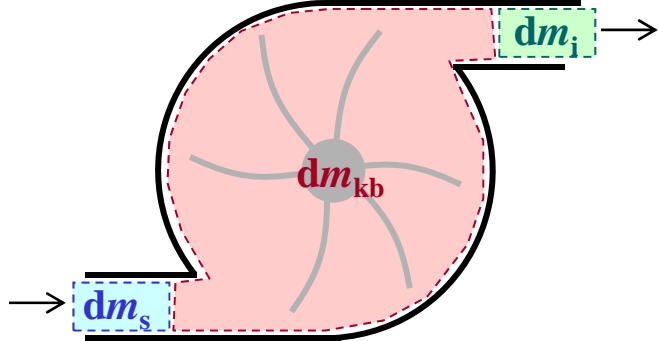
Fluxu iraunkorren $m_{kb} = \text{kte}$:

$$\frac{dm_{kb}}{dt} = 0 \rightarrow \dot{m}_s = \dot{m}_i.$$

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{V} = \rho \cdot Q = \rho \cdot A \cdot c = \frac{A \cdot c}{v}.$$

Likidoetan ($\rho \approx \text{kte}$): $Q = \dot{V} = A \cdot c = \text{kte}$

Fluxurako sarrera eta irteera bat baino gehiago dugunean: $\sum_j \dot{m}_j = \sum_i \dot{m}_i.$



2) Energiaren kontserbazio-printzipioa sistema irekietan:

$$\frac{dE_{kb}}{dt} = \dot{E}_s - \dot{E}_i.$$

Fluxu iraunkorren $E_{kb} = \text{kte}$:

$$\frac{dE_{kb}}{dt} = 0 \rightarrow \dot{E}_s = \dot{E}_i.$$

$$u_s + \frac{1}{2}c_s^2 + gy_s + q = u_i + \frac{1}{2}c_i^2 + gy_i + w.$$

$$\Delta e_z + \Delta e_p + \Delta u = q - w.$$

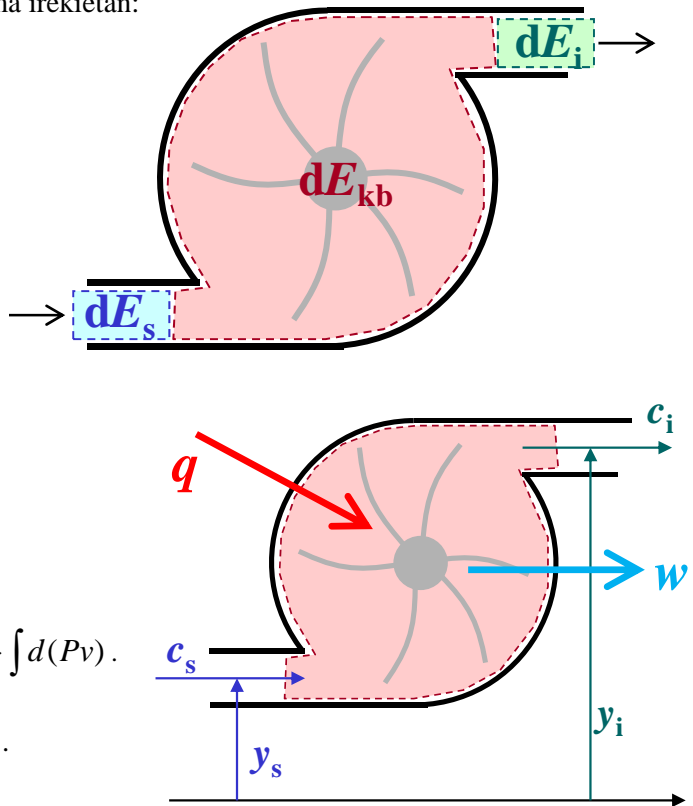
Lana: $w = w_{\text{fluxu}} + w_{\text{kb}}.$

- Fluxu-lana: $w_{\text{fluxu}} = P_i v_i - P_s v_s = \Delta(Pv) \rightarrow \int d(Pv).$

- Zirkulazio-lana/Ardatz-lana: $w_{\text{kb}} = -\int v dP.$

$$u_s + P_s v_s + \frac{1}{2}c_s^2 + gy_s + q = u_i + P_i v_i + \frac{1}{2}c_i^2 + gy_i + w_{\text{kb}}.$$

Entalpia: $h = u + Pv \rightarrow$ Gas idealetan $h = h(T).$



4.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa - Sistema irekiak

$$h_s + \frac{1}{2}c_s^2 + gy_s + q = h_i + \frac{1}{2}c_i^2 + gy_i + w_{kb}.$$

$$\Delta e_z + \Delta e_p + \Delta h = q - w_{kb}.$$

Sarrera eta irteera bakarreko sistema batean, adierazpena denbora unitateko energien funtzioan adieraz daiteke honela (bero-fluxua eta lana bat baino gehiago hartu dira):

$$\dot{m} \cdot (h_s + \frac{1}{2}c_s^2 + gy_s) + \sum \dot{Q} = \dot{m} \cdot (h_i + \frac{1}{2}c_i^2 + gy_i) + \sum \dot{W}_{kb}.$$

Fluxurako sarrera eta irteera bat baino gehiago dugunean, adierazpen orokorra honako hau da (bero-fluxua eta lana bat baino gehiago hartu dira):

$$\underbrace{\sum_j \left[\dot{m}_j \cdot (h_j + \frac{1}{2}c_j^2 + gy_j) \right]}_{\text{sarrerak}} + \sum \dot{Q} = \underbrace{\sum_l \left[\dot{m}_l \cdot (h_l + \frac{1}{2}c_l^2 + gy_l) \right]}_{\text{irteerak}} + \sum \dot{W}_{kb}.$$

Sarrera eta irteera bakarreko sistema batean, fluxua iraunkorra ez bada:

$$\frac{dE_{kb}}{dt} = \dot{Q} - \dot{W}_{kb} + \dot{m}_s \cdot (h_s + \frac{1}{2}c_s^2 + gy_s) - \dot{m}_i \cdot (h_i + \frac{1}{2}c_i^2 + gy_i).$$

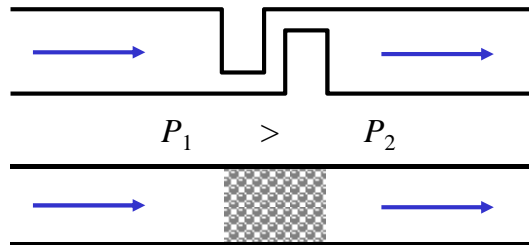
3) Sistema irekien adibideak:

- Iratogailuak, iratopen-balbulak:

$$q = 0.$$

$$w = 0.$$

$$\Delta h = 0.$$

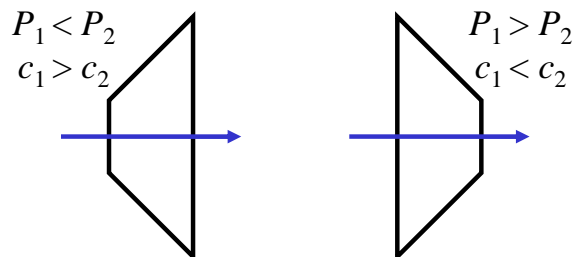


- Haizebideak (toberak, difusoreak):

$$q = 0 \text{ (adiabatikoa).}$$

$$w = 0.$$

$$\Delta e_z = -\Delta h.$$



(Fluxu konprimiezinean)

- Turbinak/Ponpak eta konprimagailuak (adiabatikoak):

$$q = 0 \text{ (adiabatikoa).}$$

$$w = -\Delta h.$$

4.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa - Sistema irekiak

- Turbina: $h_2 < h_1 \rightarrow w > 0$.
- Ponpa eta konprimagailua: $h_2 > h_1 \rightarrow w < 0$.

- Bero-trukagailuak.

- Fluxu bakoitza bere aldetik aztertuta:

$$\text{Fluxu beroa: } q_{\text{beroa}} = \Delta h_{\text{beroa}} < 0.$$

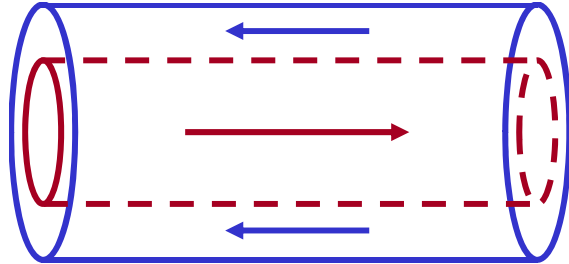
$$\text{Fluxu hotza: } q_{\text{hotza}} = \Delta h_{\text{hotza}} > 0.$$

- Bero-trukagailu osorako hauxe daukagu:

$$w = 0.$$

$$|q_{\text{beroa}}| = |q_{\text{hotza}}| \rightarrow q = 0 \text{ (adiabatikoa).}$$

$$\Delta h = 0.$$



EBATZITAKO ARIKETAK

4.A- Aire-konprimagailu batek $9,8 \text{ N/cm}^2$ presioko eta $0,84 \text{ m}^3/\text{kg}$ bolumen espezifikoko airea xurgatzen du, eta bederatzi aldiz handiago den presioan eta $0,14 \text{ m}^3/\text{kg}$ -ko bolumen espezifikoa kanporatzen du. Sarrerako airearen barne-energia $2,6 \text{ kcal/kg}$ -koa da, eta irteeran $27,5 \text{ kcal/kg}$. Konprimagailua hoztean, konprimagailuak likido hozgarrira 16 kcal askatzen ditu aire kilogramo bakoitzeko.

- a) Energia zinetikoa eta potentzialaren aldaketak arbuigarriak badira, kalkulatu konprimagailuari emandako lana.
- b) Konprimagailuak 160 kg orduko aire konprimitzen baditu, zein izango da konprimagailuaren potentzia?
- c) Konprimagailua hozteko olio erabiltzen bada, eta bere temperatura $10 \text{ }^\circ\text{C}$ baino gehiago ez bada handitu behar, zein olio-masa igaro behar da orduko? $c_{\text{olioa}} = 0,42 \text{ kcal}/(\text{kg } ^\circ\text{C})$.

Ebazpena: a) Termodinamikaren lehenengo printzipioa konprimagailuan:

$$\dot{m} \cdot \left(h_1 + \frac{1}{2} c_1^2 + g y_1 \right) + \dot{Q} = \dot{m} \cdot \left(h_2 + \frac{1}{2} c_2^2 + g y_2 \right) + \dot{W} .$$

Masa-fluxua desagerraraziz: $w = q - \Delta h = q - ((u_2 + P_2 v_2) - (u_1 + P_1 v_1))$.

$w = - 50,73 \text{ kcal/kg} = - 212,40 \text{ kJ/kg}$.

b) $\dot{W} = \dot{m}_{\text{airea}} \cdot w$.

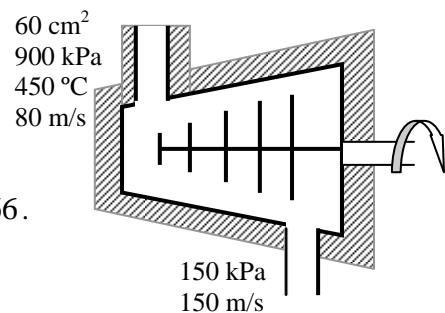
$\dot{W} = -9,44 \text{ kW}$.

c) $|\dot{Q}| = (16 \text{ kcal/kg}) \cdot \dot{m}_{\text{airea}}$.

$|\dot{Q}| = \dot{m}_{\text{olioa}} \cdot c_{\text{olioa}} \cdot \Delta T$.

$\dot{m}_{\text{olioa}} = 609,52 \text{ kg/h} = 0,1693 \text{ kg/s}$.

4.B- Argoi gasa fluxu iraunkorrean sartzen da turbina adiabatikoko batean baldintza hauetan: 900 kPa , $450 \text{ }^\circ\text{C}$ eta 80 m/s . Irteeran presioa 150 kPa da, eta abiadura 150 m/s . Turbinaren sarrerako azalera 60 cm^2 da. Turbinaren irteerako potentzia 250 kW bada, kalkulatu argoiaren irteerako tenperatura.



Datuak: $R = 0,208 \text{ kJ}/(\text{kg K})$; $c_p = 0,520 \text{ kJ}/(\text{kg K})$ eta $k = 1,66$.

Ebazpena: Argoiaren sarrerako bolumen espezifikoa:

$Pv = RT \rightarrow v = 0,1671 \text{ m}^3/\text{kg}$.

Argoiaren masa-emaria: $\dot{m} = \frac{S \cdot c}{v} = 2,8726 \text{ kg/s}$.

4.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa - Sistema irekiak

Termodinamikaren lehenengo printzipioa turbinan:

$$\dot{W} = -\dot{m} \cdot (\Delta h + \Delta e_z) = -\dot{m} \cdot \left(c_p \cdot \Delta T + \frac{1}{2} (c_2^2 - c_1^2) \right).$$

Irteerako tenperatura: $T_2 = 540,2 \text{ K}$.

4.C- Ur-lurruna bero-trukagailu baten hodiaren kanpo-gainazalean kondentsatzen da, hodiaren barrutik airea pasatzean. Aire 1,20 bar, 20 °C eta 10 m/s-ko abiadura sartu eta 80 °C-tan ateratzen da. Ura 3 bar, 200 °C eta 5 kg/min-ko masa-emariarekin sartu eta likido ase modura ateratzen da presio berean. Kalkula itzazu:

a) airearen masa-emaria, kg/min.

b) Aire daraman hodiaren sekzioaren azalera, metro karratuetan.

Airearen datuak: $c_p \approx 1 \text{ kJ/(kg K)}$; $c_v \approx 0,72 \text{ kJ/(kg K)}$; masa molekularra: 28,97 kg/kmol.

Ebazpena: a) Trukagailuan elkaraldatutako beroa: $|\dot{Q}| = \dot{m}_a \cdot |\Delta h_a| = \dot{m}_u \cdot |\Delta h_u|$.

$$\dot{m}_a \cdot c_p \cdot (80 - 20) = \dot{m}_u \cdot (2.865,5 - 561,47).$$

$$\dot{m}_a = 192,00 \text{ kg/min} = 3,2 \text{ kg/s}.$$

b) Airearen masa-fluxua: $\dot{m}_a = \frac{S \cdot c}{v} = \frac{S \cdot c}{\left(\frac{RT}{P} \right)} \rightarrow S = 0,2242 \text{ m}^2$.

4.D- Ingururako bero-transferentzia neurgarririk gabe egoera iraunkorrean dabilen ur-berogailu batek bi sarrera eta irteera bat ditu. 1 sarreratik, ur likidoa, 7 bar eta 40 °C-tan, sartzen da. 2 sarreratik, ur-lurruna, 7 bar eta 200 °C-tan. 3 irteeran likido ase dugu 7 bar-etan. Adierazi sarrera bietako masa-fluxuen arteko erlazioa.

Ebazpena: Likidoetan honako hurbilketa erabili ohi da: $h_l \approx h_f(40 \text{ °C}) = 167,57 \text{ kJ/kg}$.

Lurrun gainberotua: $h_2(7 \text{ bar}, 200 \text{ °C}) = 2.844,8 \text{ kJ/kg}$

Likido ase: $h_3(7 \text{ bar}) = 697,22 \text{ kJ/kg}$.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Masaren kontserbazioa : } \dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3 \\ \text{Energiaren kontserbazioa : } \dot{m}_1 \cdot h_1 + \dot{m}_2 \cdot h_2 = \dot{m}_3 \cdot h_3 \end{array} \right\} \rightarrow \frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_2} = \frac{\left(\frac{h_2}{h_3} - 1 \right)}{\left(1 - \frac{h_1}{h_3} \right)} = 4,0547.$$

4.E- Bi aire-korrante gordailu batera sartzen dira, bertan nahastuko direlarik. Korrante baten emaria, tenperatura eta abiadura honakoak dira: 2,5 kg/s, 32 °C eta 30 m/s. Beste fluxuarenak, aldiz, hauek: 3,6 kg/s, 50 °C eta 60 m/s. Nahastea 15 m/s-ko abiadura ateratzen da. Nahaste-prozesuan aire-kilogramo bakoitzak 5,5 kcal xurgatzen du. Aurkitu irteerako tenperatura, °C-tan. Airearen datuak: $c_v = 0,718 \text{ kJ/(kg °C)}$; $c_p = 1,005 \text{ kJ/(kg °C)}$.

Ebazpena: Airearen entalpiarako hau hartuko dugu:

4.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa - Sistema irekiak

$$h(0^\circ\text{C}) = 0 \rightarrow \begin{cases} h_1 = c_p \cdot T_1 \\ h_2 = c_p \cdot T_2 \\ h_3 = c_p \cdot T_3 \end{cases}$$

Nahasgailuan masaren kontserbazio-printzipioa aplikatuko dugu: $\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3$.

Ondoren, energiaren kontserbazioa aplikatuko dugu:

$$\dot{m}_1 \cdot \left(h_1 + \frac{1}{2} c_1^2 \right) + \dot{m}_2 \cdot \left(h_2 + \frac{1}{2} c_2^2 \right) + (\dot{m}_1 + \dot{m}_2) \cdot q = (\dot{m}_1 + \dot{m}_2) \cdot \left(h_3 + \frac{1}{2} c_3^2 \right).$$

Airearen irteerako temperatura: $T_3 = 66,66^\circ\text{C}$.

4.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa - Sistema irekiak

ARIKETAK EMAITZEKIN

4.1- Gas idealetako nahaste bat, 48 g/mol masa molekularrekoa, 3 bar, 157 °C eta 180 m/s-tan sartu da sistema baten barrura 20 cm²-ko azalera zehar. Irteeran, presioa 1,5 bar eta abiadura 120 m/s dira, sekzioaren azalera 40 cm²-koa izanik. Egoera iraunkorrean, aurki ezazu: a) gas-masaren fluxua, kg/s-tan; b) irteerako tenperatura, °C-tan.

Emaitzak: a) 1,45 kg/s; b) 14 °C.

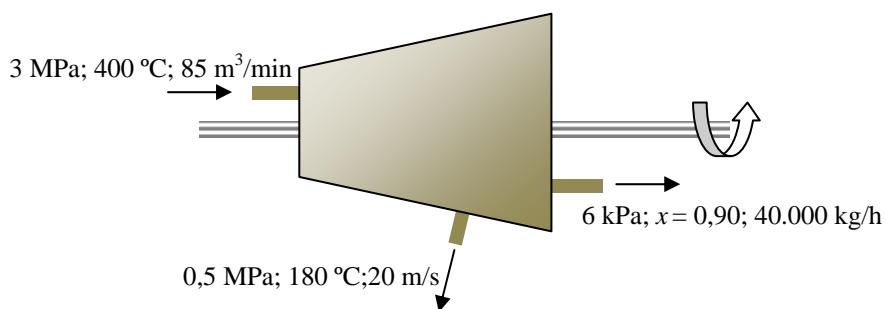
4.2- Turbina batera ur-lurruna sartzen da 0,2 m-ko diametroko hodian zehar. Lurrunaren abiadura 100 m/s, presioa 14 MPa eta tenperatura 600 °C da. Turbinatik 0,8 m-ko diametrodun hoditik irteten da, 500 kPa presioan eta 180 °C-ko tenperaturan. Egoera iraunkorrerako, aurkitu irteerako abiadura, m/s-tan, eta lurrun-masaren fluxua, kg/s-tan.

Emaitzak: 94,23 m/s; 117,1 kg/s.

4.3- Fluxu iraunkorreko sistema batera 2,3 kg/s sartzen dira 7 kg/cm² presioan, 3,2 kg/m³ dentsitatearekin, 30 m/s abiaduraz eta 450 kcal/kg-ko barne-energia espezifikoarekin; 1,4 kg/cm² presioan, 0,8 kg/m³ dentsitatearekin, 150 m/s abiaduraz eta 430 kcal/kg-ko barne-energia espezifikoarekin irteten da. Pasatzean kg bakoitzak 5,5 kcal bero askatzen du. Aurki ezazu garatutako potentzia ZP-tan.

Emaitza: 290 ZP.

4.4- Turbina adiabatiko batek egoera iraunkorrean lan egiten du. Ur-lurruna 3 MPa-etan eta 400 °C-tan sartzen da 85 m³/min bolumen-fluxuaz. Lurrunaren zati bat 5 bar-eko presioan eta 180 °C-ko tenperaturan ateratzen da turbinatik. Gainerakoa 0,06 bar-eko presioraino hedatzen da eta turbinatik 40.000 kg/h masa-fluxuaz eta % 90eko tituluaz irteten da. Energia zinetiko eta potentzialaren aldakuntzak arbuia daitezke. Kalkula itzazu: a) lurruna ateratzen den hodiaren diametroa, m-tan, 20 m/s-ko abiaduraz ateratzen dela jakinik; b) garatutako potentzia, kW-tan.



Emaitzak: a) 0,284 m; b) 11.371 kW.

4.5- Konprimagailu zentrifugo batek 5,6 m³/min aire konprimatzen du 0,8 kg/cm²-tik 6 kg/cm²-raino. Sarrerako bolumen espezifikoa 0,78 m³/kg eta irteerakoa 0,21 m³/kg dira. Sarrerako hodiak 10 cm-ko diametroa du eta irteerakoak, 6 cm-koa. Aurkitu:

a) fluxu-lana, kgm/min-tan.

b) Masa-emaria, kg/min-tan.

c) Abiadura-aldaketa.

Emaitzak: a) 45.661,5 kgm/min; b) 7,18 kg/min; c) - % 25,2.

4.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa - Sistema irekiak

4.6- 28 kg/cm^2 -ko presioan eta $316 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan ($h_1 = 726 \text{ kcal/kg}$) dagoen ur-lurruna, 1.360 kg/orduko masa-emariarekin sartzen da tobera batera, eta $17,5 \text{ kg/cm}^2$ -ko presioan eta 478 m/s -ko abiadura ateratzen da. Sarrerako abiadura arbuia eta fluxu adiabatikoa onarturik, irteerako entalpia espezifikoa eta toberaren irteerako azalera kalkula itzazu ($v_2 = 1,97 \text{ m}^3/\text{kg}$).

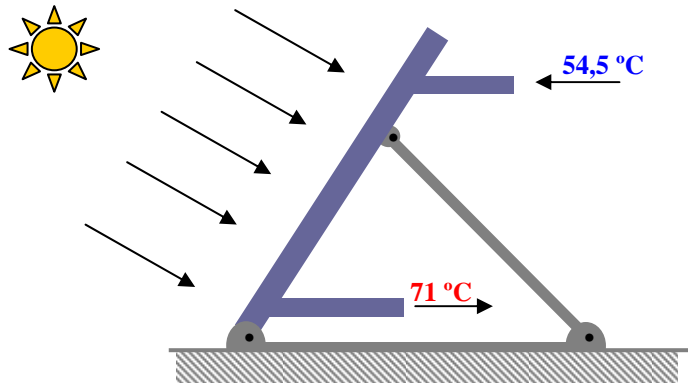
Emaitzak: $698,7 \text{ kcal/kg}$; $15,57 \text{ cm}^2$.

4.7- Egoera iraunkorren dabilen haizebide (tobera) batera, ur-lurruna sartzen da 40 bar eta $400 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan, 10 m/s -ko abiaduraz. Irteeran, presioa 15 bar eta abiadura 665 m/s dira. Masa-fluxua 2 kg/s da. Kalkula ezazu irteerako sekzioaren azalera, m^2 -tan.

Emaitza: $4,89 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$.

4.8- Irudian eguzkiaren energia xurgatzen duen kolektore lau dakusagu; bere azalera 3 m^2 -koa da. Kolektoreak $468,8 \text{ W/m}^2$ -ko erritmoaz jasotzen du eguzkitiko erradiazioa. Horren % 40 ingururanzko bero-transferentzia galtzen da. Gainerakoa, ura $54,5 \text{ }^\circ\text{C}$ -tik $71 \text{ }^\circ\text{C}$ -ra berotzeko erabiltzen da. Kolektoretik pasatzean, uraren presio-jaitsiera mesprezagarria da. Kalkula ezazu ur beroaren ekoizpena kg/min -tan. Horrelako zenbat kolektore behar dira $71 \text{ }^\circ\text{C}$ -tango 150 l ur 30 minututan ekoizteko?

Emaitzak: $0,73 \text{ kg/min}$; 7.



4.9- Aire-fluxu bat ($c_p = 1,007 \text{ kJ/(kgK)}$) egoera iraunkorren funtzionatzen duen hedagailu (difusore) batera sartzen da $0,7 \text{ bar}$ -eko presioaz, $57 \text{ }^\circ\text{C}$ -ko tenperaturaz eta 200 m/s -ko abiaduraz. Irteeran presioa 1 bar -ekoa da. Irteerako sekzioaren azalera sarrerakoa baino % 20 handiagoa da. Aurki itzazu airearen irteerako tenperatura eta abiadura, airea bero espezifikoko konstantedun gas idealtzat hartuta.

Emaitzak: 343 K ; 121 m/s .

4.10- Turbina baterako sarrera, irteera baino 100 m gorago dago. Sarrerako eta irteerako hodiekin 1 m -ko diametroa dute. Ura 3 m/s -ko abiaduraz eta $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -ko tenperaturaz sartzen da, turbinatik pasatzean bere presioa eta tenperaturak aldaketa nabaririk jasan gabe. Turbina eta inguruaren arteko bero-transferentzia ere mespreza daiteke. Toki horretako grabitatearen azelerazioa $9,8 \text{ m/s}^2$ dela jakinik, zein potentzia, kW -tan, garatuko du turbinak egoera iraunkorren?

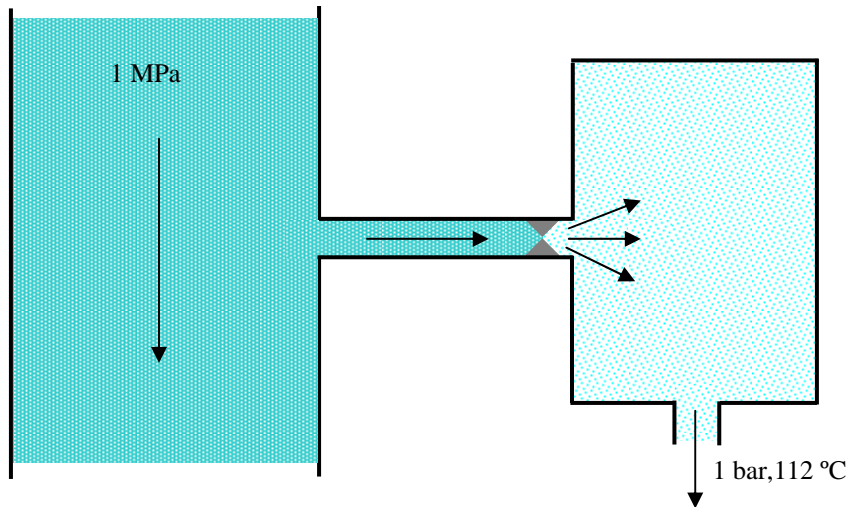
Emaitza: 2.309 kW .

4.11- 4.600 kg/h -ko urrezko masa-fluxua egoera iraunkorren dabilen turbina batera sartzen da. Turbinak 1.000 kW -ko potentzia garatzen du. Sarreran, presioa 60 bar , tenperatura $400 \text{ }^\circ\text{C}$ eta abiadura 10 m/s dira. Irteeran, presioa $0,1 \text{ bar}$, titulua $0,9$ eta abiadura 50 m/s dira. Kalkula ezazu turbina eta bere inguruaren arteko bero-transferentzia.

Emaitza: $-61,3 \text{ kW}$.

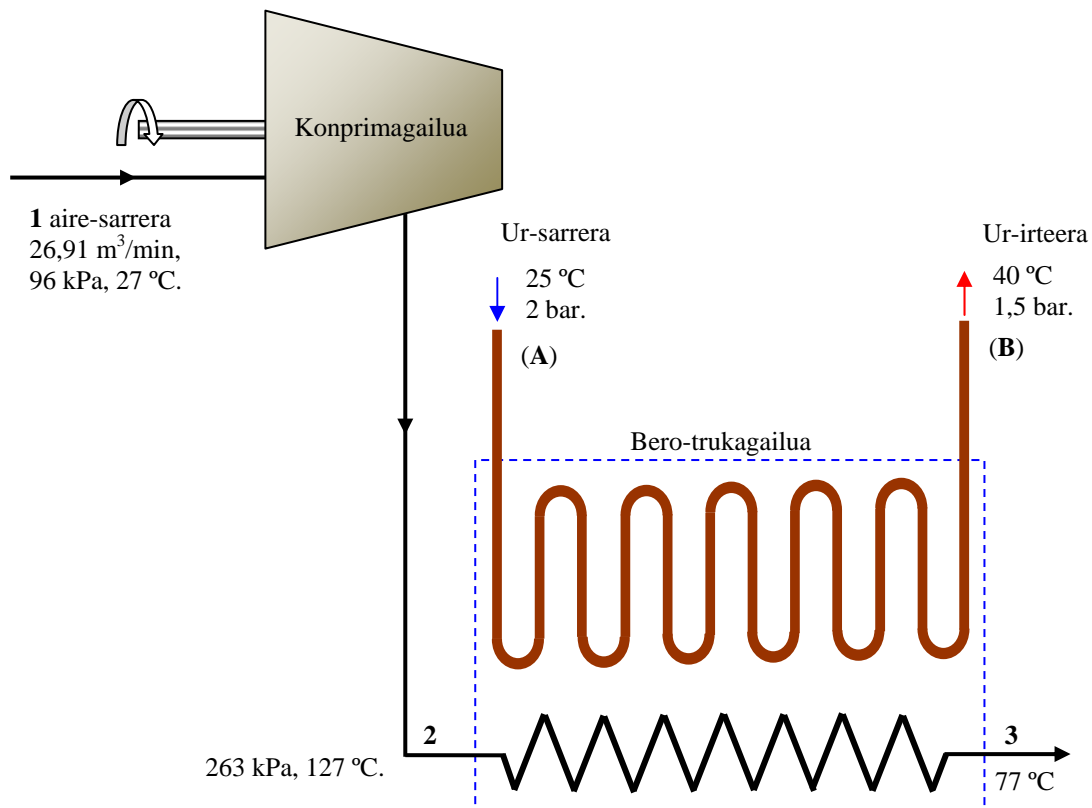
4.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa - Sistema irekiak

4.12- Hodi handi batek 1 MPa-tan dagoen ur likido-lurrin nahastea daroa (ikus beheko irudia). Fluxu horren zati txiki bat iratopen-kalorimetro baterantz desbideratzen da estugune batetan zehar. Bertatik, lurruna, 1 bar-eko presio atmosferikoan eta 112 °C-ko tenperaturan irteten da. Hodi handian zehar doan lurrunaren titulua kalkula ezazu.



Emaitza: 0,961.

4.13- Aire-fluxu bat beheko irudiko konprimagailuan eta bero-trukagailuan zehar pasatzen da era iraunkorrean. Ingururako bero-transferentzia eta energia zinetiko eta potentzialaren aldakuntzak mesprezaturik, aurki itzazu konprimagailuak garatutako potentzia, kW-tan, eta hozketarako uraren masa-fluxua, kg/s-tan. ($M_{\text{airea}} = 28,97 \text{ kg/kmol}$).



Emaitzak: -50,4 kW; 0,403 kg/s.

4.14- Urez hoztutako konprimagailu batek eskatzen duen lana 180 J-koa da emandako airearen gramo bakoitzeko. Irteten den airearen entalpia espezifikoak 15,65 kcal/kg kantitatean da sarrerakoa baino handiagoa eta hozketarako ur-korronteak zurgatzen duen beroa 22,7 kcal-koa da aire kilogramo bakoitzeko.

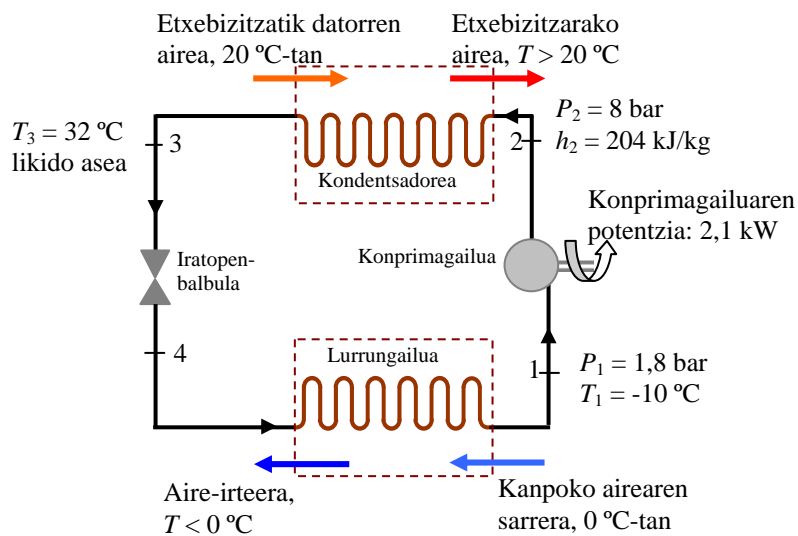
4.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa - Sistema irekiak

Errodamenduetan, zilindroaren hormetan zehar eta abar bero modura xahututako energia, aire kilogramoko, kalkula ezazu.

Emaitza: 4,64 kcal/kg.

4.15- Eraikuntza baten beroponpa egoera iraunkorrean dabil, beheko irudian eskematikoki erakusten den moduan. R12 hozgarria sistemako osagai guztietatik pasatzen da, eta bere propietateen datuak hozte-zikloko egoera adierazgarrietan ematen dira. Hozgarriaren masa-fluxua 4,6 kg/min da. Aurki itzazu, kJ/min-tan, bero-transferentziaren abiadurak:

- hozgarritik aire egokitura, kondentsadorean;
- Konprimagailua eta bere inguruaren artean;
- Aire atmosferikotik hozgarrira, lurrungailuan.



Emaitzak: a) -632,2 kJ/min; b) -20,34 kJ/min; c) 526,5 kJ/min.

4.16- Turbina batera 4,8 kg/s ur-lurrun sartzen da. Turbinaren sarrera 2,5 m altuago dago irteera baino. Sarrerako abiadura eta entalpia espezifikoa 132 m/s eta 3.127,2 kJ/kg dira eta irteerakoak 327 m/s eta 2.512 kJ/kg. Beroa galtzen da 9,2 kJ/s erritmoan. Turbinak garatzen duen potentzia kalkula ezazu, kW-tan.

Emaitzak: 2.729,1 kW.

4.17- Aire-masa bat 1 bar-eko presioan, 290 K-eko tenperaturan eta 6 m/s-ko abiaduraz sartzen da konprimagailu batera 0,1 m²-ko sekzioan zehar. Irteeran, presioa 7 bar, tenperatura 450 K eta abiadura 2 m/s dira. Konprimagailutik ingururako 180 kJ/min-ko bero-transferentzia dago. Konprimagailuak kontsumitutako potentzia, kW-tan, kalkula ezazu.

Emaitza: -119,5 kW.

4.18- Ponpa batek, 10 kg/s-ko ur-masa bultzatzen du, era iraunkorrean, hodi-sistema batetan zehar. Sarreran, presioa 1 bar, tenperatura 20 °C eta abiadura 3 m/s dira. Irteeran, berriz, presioa 1,36 bar, tenperatura 20 °C eta abiadura 12 m/s dira. Irteera sarrera baino 15 m gorago dago eta grabitatearen azelerazio lokala 9,8 m/s² da. Aurki ezazu ponpak behar duen potentzia, kW-tan.

Emaitza: 2.505 W.

4.19- Zentral termiko baten kondentsadorera ur-lurruna sartzen da, 0,1 bar-eko presioan eta 0,95 tituluaz; ur kondentsatua 0,1 bar eta 45 °C-tan irteten da. Hozketarako ura, korrante banandu bezala, 20 °C-tan sartu

4.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa - Sistema irekiak

eta 35 °C-tan irteten da presio-aldaketarik gabe. Ingururako bero-transferentzia eta energia potentzial eta zinetikoaren aldakuntzak arbuia daitezke. Kalkula ezazu hozketarako uraren eta ur kondentsatuaren masa-emariaren arteko erlazioa.

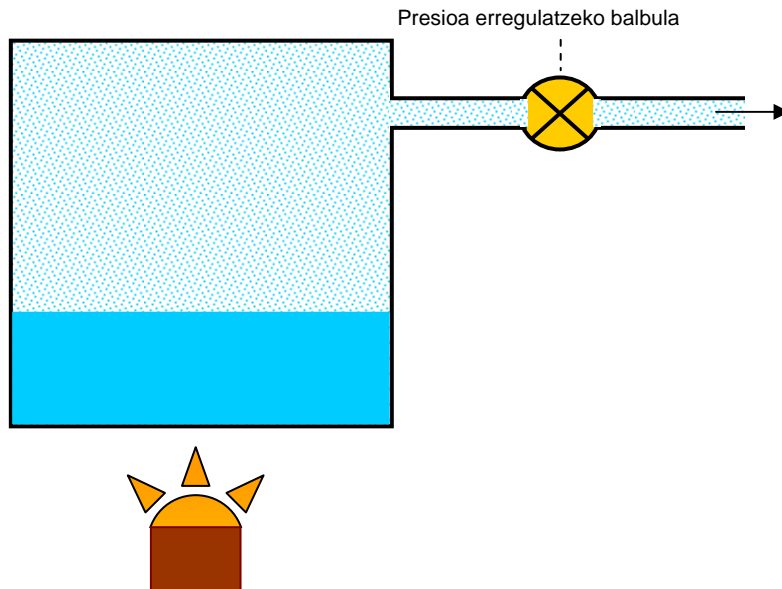
Emitza: 36,25.

4.20- R-134a hozgarriaren 0,6 m³/min-ko fluxu bolumetrikoko bat konprimagailu batera sartzen da 0,2 MPa eta 0 °C-tan. Sarrerako eta irteerako hodiaren diametroak 3 eta 1,5 cm dira, hurrenez hurren. Irteeran, presioa 1 MPa eta tenperatura 50 °C dira. Konprimagailuak kontsumitutako potentzia 3 kW-koa dela jakinik, kalkula ezazu ingururanzko bero-fluxua kW-tan.

Emitza: -0,1203 kW.

4.21- Irudiko ontzi zurrunko 0,06 m³-ko bolumena du. Hasieran % 20ko tituludun ur-lurrun hezea dauka 15 bar-eko presioan. Ontziaren edukia berotzean, presioa konstante mantentzen da. Horretarako, erregulazio-balbula batetik lurrun asean irteten uzten da. Beroketa-prozesuak ontzia likidorik gabe geratu arte jarraituko du. Kalkulatu emandako beroa, kJ-tan, eta ihes egiten duen lurrun-masa, kg-tan.

Emitzak: 3.426 kJ; 1,744 kg.



4.22- Ondo isolatutako tanke zurrunko bat, 10 m³-ko bolumeneko, hodi handi bati konektatuta dago. Hoditik 15 bar eta 280 °C-tan dagoen ur-lurruna igarotzen da. Hasieran tankea hutsik dago. Hodiarekin konektatzen duen balbula zabalduz, lurruna tankera sartuko da, barruko presioa 15 bar-ekoa izan arte. Kalkula ezazu sartu den lurrun-masa kg-tan.

Emitza: 47,4 kg.

4.23- Airearen egokitzeko sistema baten hozte-zirkuitua bero-trukagailu bat da, zeinaren kanpoaldetik airea dabilen. Aireak 40 °C-tan eta 1,1 bar-tan sartzen da 40 m³/min-ko emari bolumetrikorekin; eta 20 °C-tan eta 1 bar-etan irteten da. R12 hozgarria % 40ko tituluz eta 10 °C-tan sartu eta 10 °C-tan irteten da lurrun asearen egoeran. Kalkula itzazu hozgarriaren masa-fluxua kg/min-tan eta airearen hozgarriari emandako energia kJ/min-tan. Bero-trukagailua eta ingurunearen artean bero-trukaketa arbuia. Energia potentzial grabitatorioa eta energia zinetikoa aldatzen ez direla suposatuz. Airearen datuak: $c_p \approx 1 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$; $R = 0,287 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$.

Emitzak: 11,208 kg/min; 984,17 kJ/min.

4.24- R134a hozgarriaren fluxu bat hozketarako sistema baten iratopen-balbulara 1,2 MPa-etan sartu eta 0,24 MPa-tan irteten da % 30-eko tituluz. Zein da hozgarriaren tenperatura sarreran?

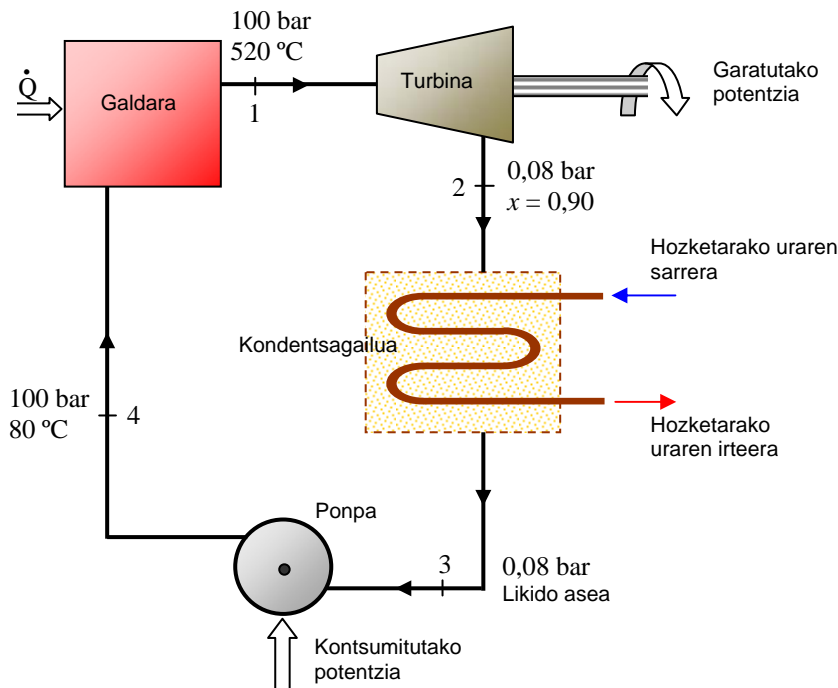
4.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa - Sistema irekiak

Emitza: 38 °C.

4.25- Irudian, egoera iraunkorrean dabilen zentral termiko baten eskema dakusagu. Erabilitako fluido termikoa ura da ($c_p = 1 \text{ kcal}/(\text{kg}\cdot\text{K})$), 130 kg/s-ko masa-fluxuaz eta egoera desberdinetarako propietateak ematen dira. Kalkula itzazu:

- lurrun-sorgailuan urari ematen zaion beroa;
- zentralak ematen duen potentzia *netoa*;
- hozketarako uraren masa-fluxua, 15 °C-ko jauzi termikoa jasaten duela jakinik.

Emitzak: a) 401 MW; b) 119,5 MW; c) 4.477 kg/s.



4.26- Turbina adiabatiko batera airea sartzen da 900 kPa-eko presioan, 450 °C-eko tenperaturan eta 80 m/s-ko abiadurarekin. Irteeran bere abiadura 150 m/s-koa da. Turbinaren sarrerako sekzioa 60 cm²-koa da. Turbinatik ateratzen den potentzia 250 kW-koa baldin bada, kalkula ezazu gasak irteeran izango duen tenperatura. Airearen c_p eta masa molekularra honako hauek dira: 1 kJ/kg °C eta 28,97 kg/kmol.

Emitza: 322 °C.

4.27- Aire-fluxu bat 0,25 MPa-etan eta 80 °C-etan sartzen da 100 cm²-ko sekzioan zehar sistema jakin batera 30 m/s-ko abiaduran. Bertatik 0,35 MPa-etan, 100 °C-etan eta 20 m/s-ko abiaduran irteten da. Kalkula ezazu cm²-tan irteerako sekzioaren azalera.

Emitza: 113,20 cm².

4.28- Sorgailu elektriko bat elikatzen duen lurrun-turbina adiabatiko batek aire-konprimagailu adiabatiko bat eragiten du baita ere. Ur-lurruna 12 MPa-etan eta 520 °C-tan sartzen da turbinara 25 kg/s-ko emariarekin, eta 10 kPa-etan ateratzen da 0,92 tituluarekin. Airea 295 K-etan sartzen da konprimagailura 10 kg/s-ko emariarekin eta 550 K-etan ateratzen da. Kalkula ezazu kW-tan turbinak sorgailuari emandako potentzia netoa. Airearen datua: $c_p \approx 1 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{°C})$.

Emitza: 22.662,5 kW.

4.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa - Sistema irekiak

4.29- Motor batekin frogak egiten gabiltza. Karga erabilgarrian jarri beharrean, balaztatua izaten ari da. Motorra 1.500 bira/min-tan biratzen ari denean, 5.000 N·m-eko indar-parea eragiten zaio. Balaztatzean, motorraren energia guztia bero bihurtzen dela onartzen da. Balaztara 10.000 kg/h-ko ur-emaria iristen da 15 °C-tan. Zein tenperaturatan aterako da hozketarako ura? Uraren bero espezifikoa: 1 kcal/(kg K).

Emaitza: 82,5 °C.

4.30- Bero-trukagailu baten hodiaren kanpo-gainazalean ur-lurruna kondentsatzen da hodiaren barrutik airea pasatzean. Aire 1,20 bar-etan, 20 °C-etan eta 10 m/s-ko abiadura sartzen da, eta 80 °C-tan ateratzen da. Ura 3 bar-etan, 200 °C-etan eta 5 kg/min-eko masa-emariarekin sartzen da, eta likido ase modura ateratzen da presio berean. Kalkula itzazu:

a) airearen masa-emaria, kg/min.

b) airea daraman hodiaren sekzioaren azalera, metro karratuetan.

Airearen datuak: $c_p \approx 1$ kJ/(kg K); $c_v \approx 0,72$ kJ/(kg K); masa molekularra: 28,97 kg/kmol.

Emaitzak: a) 192 kg/min; b) 0,224 m².

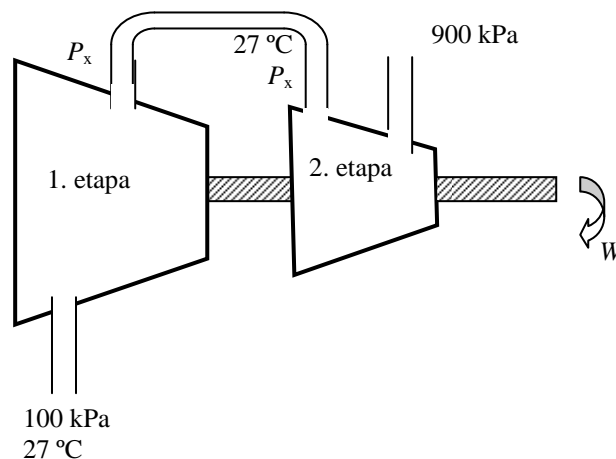
4.31- Ur-lurrunezko turbina batean, hegal birakorretara iristen den ur-lurrunaren abiadura handitzeko tobera itzulgarri bat erabiltzen da. Lurruna toberara 800 kPa-etan eta 250 °C-etan iristen bada eta 60 kPa-eko presiopean irteten bada, kalkulatu:

a) Lurrunaren entalpia toberaren irteeran.

b) Lurrunaren abiadura toberaren irteeran, sarrerakoa mesprezagarria harturik.

Emaitzak: a) 2.475,7 kJ/kg; b) 973,2 m/s.

4.32- Irudian bi etapako konpresorea ikus daiteke. Airearen masa-fluxua (0,02 kg/s) 100 kPa-etan eta 27 °C-etan sartzen da, eta 900 kPa-eko presioraino konprimitzen da. Presioen arteko erlazioa berdina da etapa bakoitzean. Bi etapen artean, airearen tenperatura hasierako tenperatura lortu arte hozten da. Airearen datuak: $k = 1,4$; $c_p = 1,008$ kJ/(kg K).



a) Konpresioak adiabatikoak badira, kalkulatu beharrezkoa den potentzia bi turbinak martxan izateko.

b) Hasierako baldintzak mantenduz eta bukaerako presio berdina lortzeko; zein izango litzateke behar den potentzia konpresio adiabatiko bakarra erabiliko bagenu?

Emaitzak: a) -4,460 kW; b) -5,283 kW.

4.- Termodinamikaren lehenengo printzipioa - Sistema irekiak

4.33- Turbina adiabatiko batera ur-lurruna sartzen da 120 bar-eko presioan, 480 °C tenperaturan eta 100 m/s-ko abiadurarekin, 100 cm²-ko azalera zehar. Irteeran bere abiadura 50 m/s-koa da, titulua % 90 eta presioa 1 bar-ekoa. Kalkula itzazu:

- masa-emaria, kg/min-tan.
- Garatutako potentzia, kW-tan.
- Irteerako azalera, m²-tan.

Emaitzak: a) 2.329,2 kg/min; b) 32.902 kW; c) 1,184 m².

4.34- (2006/02) Konprimagailu batek R134a konprimitzen du. Hozgarria 600 kPa-etan sartzen da konprimagailura $x = 0,94$ titulurekin, eta 1.000 kPa eta 40 °C-tan ateratzen da. Emaria 1,9 kg/s-koa da. Konpresioan zehar kanporanzko bero-transferentzia sarrera-lanaren % 10koa da. Kalkulatu konpresoreak kontsumitzen duen potentzia.

Emaitzak:

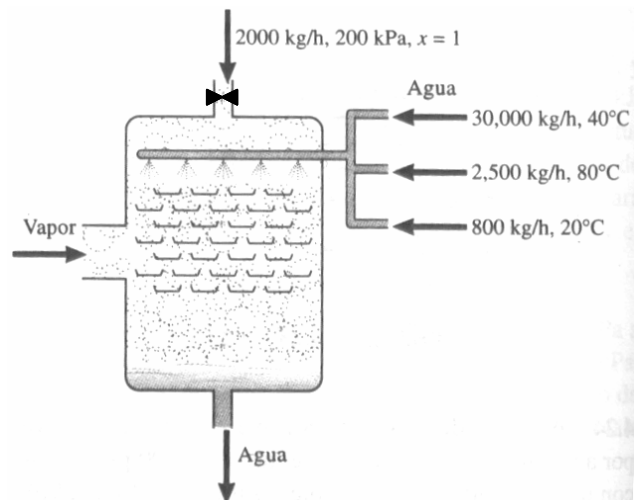
4.35- Konpresore batean zehar 0,4 kg/s-ko gas-emari egonkorra dago. 0,88 m³/kg-ko bolumen espezifiko eta 1 bar balioko presioa duen gasa, 6 m/s-ko abiaduraz sartzen da konpresorean. Irteeran 0,16 m³/kg-ko bolumen espezifikoa eta 6,9 bareko presioa du eta abiadura 4,5 m/s-koa da. Irteten den gasaren barne-energia espezifikoa, sarrerakoa baino 88 kJ/kg handiagoa da. Konpresorea inguratzen duen hozte-atorrak 59 kW-ko bero-fluxua xurgatzen du gasetik. Kalkula bedi konpresoreari eragiteko behar den potentzia eta irteera eta sarrerako hodian sekzioen azalera.

Emaitzak: $dW/dt = -103,16$ kW; $S_1 = 0,0587$ m²; $S_2 = 0,0142$ m².

4.36- Lurrunaren bidezko potentzia-zentral batean, ur-horniketarako berogailu irekia erabiltzen da. Bertan, lurruna zentraleko zenbait lekutatik iristen den urarekin nahasten da (ikus alboko irudia). Irtetean, ura lurrun-sorgailura pasatzeko prest dago.

Ur-horniketarako berogailu irekia 100 kPa-etan dabil, eta hurrengo hiru ur-emariak jasotzen ditu:

- 40 °C-tan, 30.000 kg/h-ko ur-emaria,
- 80 °C-tan, 2.500 kg/h-ko ur-emaria,
- 20 °C-tan, 800 kg/h-ko ur-emaria.



Horretaz gain, 200 kPa-eko lurrun ase iratutzen da 2.000 kg/h-ko erritmoarekin. Ur-berogailura % 98 titulua duen lurruna ere sartzen da, 100 kPa-etan. Ur-berogailutik ura asetasun tenperatura baino 2 °C gutxiagorekin ateratzen da, 39.999 kg/h-ko emariarekin. Ur-berogailua isolatuta dago, baina bere isolamendua guztiz eraginkorra ote den zalantzakoa da. Argitu kezka hau.

Emaitza: .

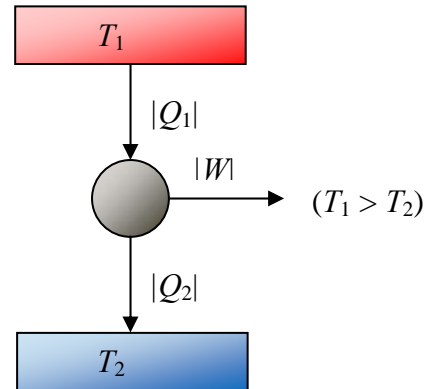
5.- Termodinamikaren bigarren printzipioa

ONARRIZKO EKUAZIOAK

1) Potentzia-ziklo baten etekina (motorra, zentral termikoa,...):

1. printzipioa: $|W| = |Q_1| - |Q_2|$.

$$\eta = \frac{|W|}{|Q_1|} = \frac{|Q_1| - |Q_2|}{|Q_1|} = 1 - \frac{|Q_2|}{|Q_1|} < 1.$$

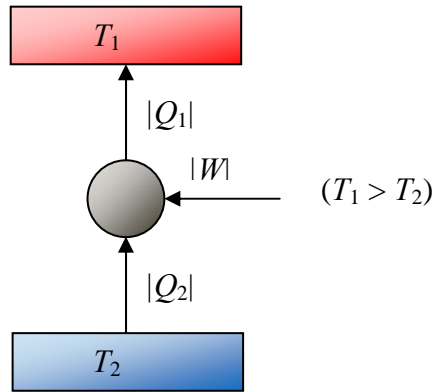


2) Operazio-koefizientea:

1. printzipioa: $|W| = |Q_1| - |Q_2|$.

- Hozkailua: $\beta = \frac{|Q_2|}{|W|}$.

- Bero-ponpa: $\gamma = \frac{|Q_1|}{|W|} > 1$.



3) Carnot-en makina/zikloa (gas ideala):

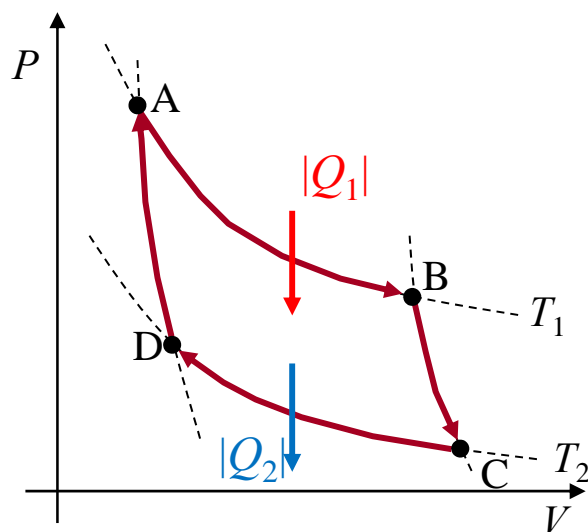
Isotermetan: $\Delta U_{AB} = \Delta U_{CD} = 0$.

$$Q_1 = W_{AB} = RT_1 \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right) > 0.$$

$$Q_2 = W_{CD} = RT_2 \ln\left(\frac{V_D}{V_C}\right) < 0.$$

$$W = Q_1 + Q_2 = R\left(T_1 \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right) + T_2 \ln\left(\frac{V_D}{V_C}\right)\right) > 0$$

$$\eta = 1 - \frac{|Q_2|}{|Q_1|} = 1 - \left(\frac{T_2}{T_1}\right).$$



5.- Termodinamikaren bigarren printzipioa

EBATZITAKO ARIKETAK

5.A- Putzu batetik ura ateratzeko eguratsaren eta putzuaren artean lan egiten duen makina termiko bat erabiltzen da. Putzuko ura 13 °C-tan dago, eta eguratsaren temperatura 27 °C-koa da. 6,1 m-ko sakoneratik 22,7 kg ur ateratzean, zenbat bero jasoko du gutxienez putzuan dagoen urak? $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

Ebazpena: Foku hotzera bero-kantitaterik txikiena Carnot-en makinak askatuko du. Makina horrek egin behar duen lana uraren energia potentzial grabitatorioaren aldaketaren berdina izan behar da: $W = -\Delta V_g = -mgh$.

$$\text{Carnot-en makinarako: } \frac{T_1}{T_2} = \frac{|Q_1|}{|Q_2|} = \frac{|Q_2| + |W|}{|Q_2|} = \frac{|Q_2| + mgh}{|Q_2|}.$$

$$|Q_2| \cdot \left(\frac{T_1}{T_2} - 1 \right) = mgh.$$

$$|Q_2| = mgh \cdot \left(\frac{T_2}{T_1 - T_2} \right) = 22,7 \cdot 9,8 \cdot 6,1 \cdot \left(\frac{286}{14} \right) = 27.721,69 \text{ J} \approx 27,7 \text{ kJ}.$$

5.B- Motor termiko batek 727 °C eta 127 °C artean lan egiten du. Ondoko kasuetarako, adieraz ezazu motorra itzulgarria, itzulezina ala ezinezkoa den.

- 500 kJ xurgatzen du foku berotik eta 180 kJ askatzen du foku hotzera.
- 500 kJ xurgatzen du foku berotik eta 320 kJ-ko lana egiten du.
- 320 kJ-ko lana egiten du eta 320 kJ askatzen du foku hotzera.

Ebazpena: Carnot-en etekina honako hau da: $\eta_c = 1 - \left(\frac{T_2}{T_1} \right) = 0,6$.

- $\eta = 0,64 > \eta_c$. Motorra ezinezkoa da.
- $\eta = 0,64 > \eta_c$. Motorra ezinezkoa da.
- $\eta = 0,5 < \eta_c$. Motorra posiblea da eta itzulezina da.

5.C- Etxe bat neguan 20 °C-tan mantentzeko termoponpa bat erabiltzen da. Kanpoko temperatura -10 °C-raino jaisten denean etxeak 25 kW-eko eritmoarekin galtzen du beroa.

- Zein da termoponpa eragiteko behar den gutxieneko potentzia elektrikoa?
- Posiblea al da 2,5 operazio-koefizientea duen termoponpa erabiltzea?
- Eta 11,5 duena?

Justifikatu era egokian erantzunak.

5.- Termodinamikaren bigarren printzipioa

Ebazpena: a) $\gamma = \frac{\dot{Q}_1}{\dot{W}} = \frac{\dot{Q}_1}{\dot{Q}_1 - \dot{Q}_2}$. Makina itzulgarriako: $\frac{\dot{Q}_1}{\dot{Q}_2} = \frac{T_1}{T_2}$.

$$\gamma_{\text{Itzulgarria}} = \frac{T_1}{(T_1 - T_2)} = \frac{\dot{Q}_1}{(\dot{W})_{\min}} \rightarrow (\dot{W})_{\min} = \frac{\dot{Q}_1}{\left(\frac{T_1}{T_1 - T_2}\right)} = \left(\frac{30}{293}\right) \cdot 25 = 2,5597 \text{ kW}.$$

$$\gamma_{\text{Itzulgarria}} = \frac{293}{(293 - 263)} = 9,7667.$$

b) $2,5 < 9,7997$ bada, termoponpa posiblea da, baina itzulezina da.

c) $11,5 > 9,7997$ bada, termoponpa ezinezkoa da. Ez da posible termoponpa itzulgarriaren operazio-koefizientea baino handiagoa izatea.

5.D- Kotxe baten motorraren irteerako potentzia 90 kW-koa da, eta bere etekina % 28. Gasolinaren eduki energetikoa 44.000 kJ/kg-koa bada, eta bere dentsitatea 0,86, zehaztu gasolinaren kontsumoa l/h-tan. Kotxearen abiadura 220 km/h-koa bada, kalkulatu kontsumoa litro/100 km-tan.

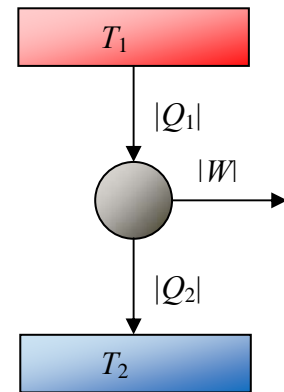
Ebazpena: Motorrak xurgatutako energia denbora-unitateko:

$$|\dot{Q}_1| = \frac{|\dot{W}|}{\eta} = 321,43 \text{ kW} = 1,157 \cdot 10^9 \frac{\text{J}}{\text{h}}.$$

Orduan, gasolina-kontsumoa hauxe izango da:

$$\frac{|\dot{Q}_1|}{q} = \frac{1,157 \cdot 10^6 \text{ kJ/h}}{44.000 \text{ kJ/kg}} = 26,299 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \rightarrow \frac{|\dot{Q}_1|}{q} \cdot \frac{1}{\rho} = \frac{26,299}{0,86} = 30,580 \frac{\text{l}}{\text{h}}.$$

$$v = 220 \text{ km/h} \rightarrow \frac{30,580 \frac{\text{l}}{\text{h}}}{2,2 \cdot 100 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = 13,900 \frac{\text{litro}}{100 \text{ km}}.$$



5.E- Hozkailu batean (Carnot-en alderantzizko zikloa), $T_1 = 20^\circ\text{C}$ -ko kanpo-ingurutik 30.000 kcal sartzen dira orduko. Hozkailuaren barruko tenperatura $T_2 = -15^\circ\text{C}$ da. Kalkula itzazu hozkailua eragiteko behar den motorraren potentzia teorikoa (kW-tan) eta hozketarako uraren kontsumoa (kg/h-tan), honen tenperatura 7°C handitzen bada.

$$\text{Ebazpena: } \frac{|\dot{Q}_2|}{|\dot{Q}_2| + |\dot{W}|} = \frac{T_2}{T_1} \rightarrow |\dot{W}| = |\dot{Q}_2| \cdot \left(\frac{T_1 - T_2}{T_2}\right) = 30.000 \frac{35}{258} = 4.069,77 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} = 4,73 \text{ kW}.$$

$$\dot{m}_{\text{ur}} = \frac{(30.000 + 4.069) \frac{\text{kcal}}{\text{h}}}{7^\circ\text{C} \cdot 1 \frac{\text{kcal}}{(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})}} = 4.867,11 \frac{\text{kg ur}}{\text{h}}.$$

5.F- Automobil baten motorrak 20 litro erregai kontsumitzen du orduko gorpilei 60 kW-ko potentzia emateko. Erregaiak 44.000 kJ/kg-ko eduki energetikoa dauka, eta $0,8 \text{ g/cm}^3$ -ko dentsitatea. Kalkula ezazu motorraren etekin termikoa.

5.- Termodinamikaren bigarren printzipioa

Ebazpena: $\dot{Q}_1 = 20 \frac{\text{litro}}{\text{h}} \cdot \frac{0,8 \text{ g}}{1 \text{ cm}^3} \cdot \frac{1.000 \text{ cm}^3}{1 \text{ litro}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1.000 \text{ g}} \cdot \frac{44.000 \text{ kJ}}{1 \text{ kg}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3.600 \text{ s}} = 195,55 \text{ kW} .$

$$\eta = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_1} \rightarrow \eta = \frac{60}{195,55} = 0,3068 .$$

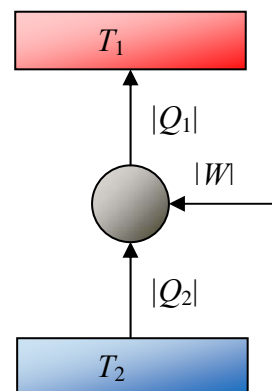
5.G- 450 W-eko hozkailu baten operazio koefizientea 2,5 da. Hozkailuak 3 kg-ko bost meloi hoztu behar ditu 8 °C-raino. Meloi guztiak 20 °C-tan daude hasieran (giro-tenperatura). Meloiak nagusiki urez osaturik daudela suposatuz ($c_{\text{ura}} = 4,179 \text{ kJ}/(\text{kg K})$), kalkulatu meloiak hozteko zenbat denbora behar den.

Ebazpena: Hozkailuaren operazio-koefizientea: $\gamma = \frac{\dot{Q}_2}{\dot{W}}$.

Meloietatik xurgatutako potentzia: $\dot{Q}_2 = 2,5 \cdot 450 = 1.125 \text{ W} .$

$$Q_2 = m \cdot c \cdot (\Delta T) = (5 \cdot 3) \cdot 4,179 \cdot (20 - 8) = 752,22 \text{ kJ} .$$

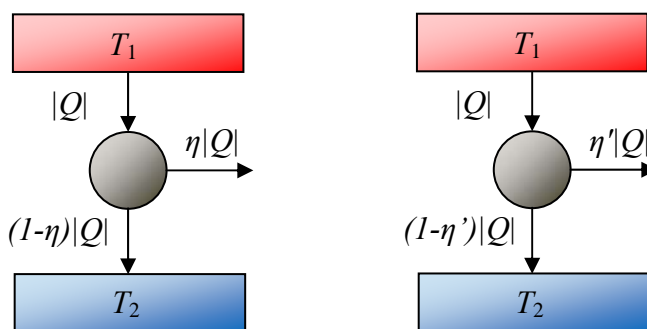
$$t = \frac{752,22 \text{ kJ}}{1.125 \text{ J/s}} = 668,64 \text{ s} = 11 \text{ min } 8,64 \text{ s} .$$



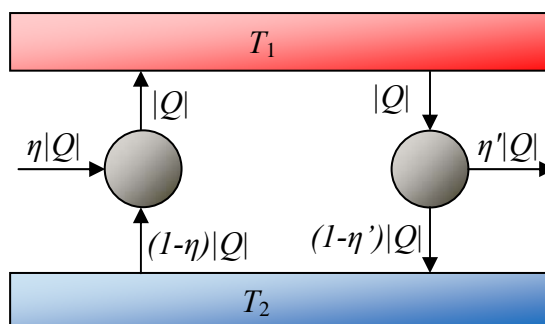
5.H- Frogatu honako adierazpena egia dela:

“Bi bero-iturriren artean diharduen edozein motor termikok, ezin du bi bero-iturri horien artean diharduen motor termiko itzulgarri batena baino etekin handiagoz jardun”.

Ebazpena: η etekina duen motor itzulgarri bat hartuko dugu. Motor itzulezin batek motor itzulgarria baino etekin handiagoa duela suposatuko dugu ($\eta' > \eta$). Biek tenperatura berdinen artean lan egiten dute.

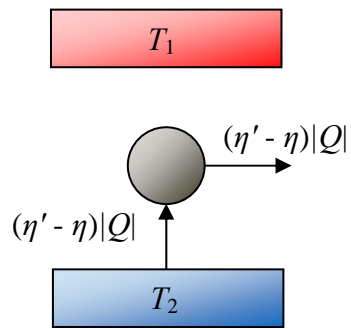


Itzulgarria den motorra, hozte-ziklo modura lan egin dezake. Hozte-ziklo itzulgarria eta motor itzulezina elkartuko ditugu:



5.- Termodinamikaren bigarren printzipioa

Bien efektu totala hauxe da:



Sortutako makina berria ezinezkoa da, Kelvin-Planck-en enuntziatua ez duelako betetzen. Hortaz, hasieran egin dugun suposizioa ezinezkoa da. Makina itzulezinak ezin du eduki makina itzulgarriak baino etekin handiagoa.

5.- Termodinamikaren bigarren printzipioa

ARIKETAK EMAITZEKIN

5.1- Potentzia-ziklo itzulgarri batek T tenperaturako foku bat eta 280 K-eko beste baten artean lan egiten du. Egoera iraunkorrean, zikloak 40 kW-ko potentzia netoa garatzen du eta foku hotzean 1.000 kJ/min askatzen du. Kalkula ezazu T , K-etan.

Emaitza: 952 K.

5.2- Makina ideal batek Carnot-en zikloa burutzen du segundo bakoitzean. Foku hotza 27 °C-tan dago, potentzia 4,187 kW-koa da eta ziklo bakoitzean 3 kcal hartzen dira galdaratik. Kalkula ezazu galdararen tenperatura, foku hotzera ziklo bakoitzean askatzen den beroa eta etekina.

Emaitzak: 450 K; 2 kcal/ziklo; % 33,33.

5.3- T_1 eta T_2 tenperaturetako fokuen artean dabilen ziklo itzulgarriaren etekina handitzeko, T_1 handituko zenuke T_2 konstante mantendurik ala T_2 txikiagotuko zenuke T_1 konstante mantenduta?

5.4- Bi potentzia-ziklo itzulgarriak seriez kokatuta daude. Lehenengo zikloak, T_1 tenperaturako fokutik beroa xurgatu eta T tenperatura duen fokura beroa askatzen du ($T < T_1$). Bigarren zikloak, lehenengoak T tenperaturako fokura askatutako beroa xurgatzen du eta T_2 tenperaturako fokura askatzen du ($T_2 < T$). Lor ezazu, T_1 eta T_2 -ren funtzioan, bitarteko T tenperaturarako adierazpena ondoko kasuetan:

a) ziklo biek lan neto berdina ematen dute.

b) ziklo biek etekin termiko berdina dute.

Emaitzak: a) $T = \left(\frac{T_1 + T_2}{2} \right)$; b) $T = \sqrt{T_1 \cdot T_2}$.

5.5- Ondoko zerrendako datuak 727 °C eta 127 °C-ren artean lan egiten duten zikloei dagozkie. Zehaztu kasu bakoitzean zikloa itzulgarria, itzulezina ala ezinezkoa den:

a) $|Q_1| = 1.000$ kJ, $|W| = 650$ kJ;

b) $|Q_1| = 2.000$ kJ, $|Q_2| = 800$ kJ;

c) $|W| = 1.600$ kJ, $|Q_2| = 1.000$ kJ;

d) $|Q_1| = 1.600$ kJ, $\eta = \% 30$;

e) $|Q_1| = 300$ kJ, $|W| = 160$ kJ, $|Q_2| = 140$ kJ;

f) $|Q_1| = 300$ kJ, $|W| = 180$ kJ, $|Q_2| = 120$ kJ;

g) $|Q_1| = 300$ kJ, $|W| = 170$ kJ, $|Q_2| = 140$ kJ.

Emaitzak: a) Ezinezkoa; b) Itzulgarria; c) Ezinezkoa; d) Itzulezina; e) Itzulezina; f) Itzulgarria; g) Ezinezkoa.

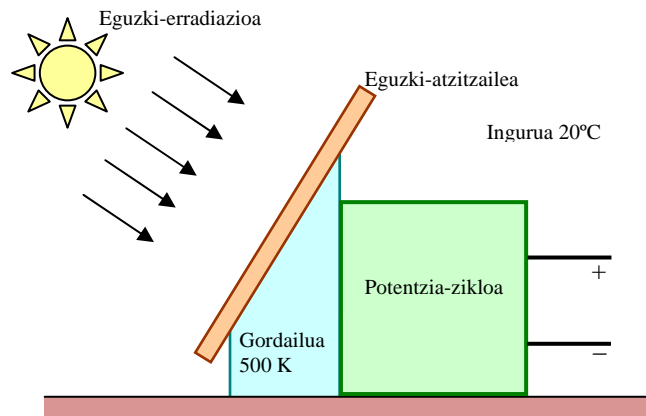
5.6- Bi fokuren artean lan egiten duen hozte-ziklo batek $T_2 = 250$ K-etan dagoen foku hotzetik energia jasotzen du, eta $T_1 = 300$ K-etan dagoen foku berora energia askatzen du. Hurrengo kasu bakoitzerako zikloa itzulgarria, itzulezina ala ezinezkoa den determina ezazu:

5.- Termodinamikaren bigarren printzipioa

- a) $|Q_2| = 1.000 \text{ kJ}$, $|W| = 400 \text{ kJ}$;
 b) $|Q_2| = 2.000 \text{ kJ}$, $|Q_1| = 2.200 \text{ kJ}$;
 c) $|Q_1| = 3.000 \text{ kJ}$, $|W| = 500 \text{ kJ}$;
 d) $|W| = 400 \text{ kJ}$, $\beta = 6$.

Emaitzak: a) itzulezina; b) ezinezkoa; c) itzulgarria; d) ezinezkoa.

5.7- Irudian, eguzkitiko erradiazioa jaso eta potentzia-ziklo batez argindarra sortzen duen sistema dakusagu. Eguzki-atzitzailak $0,315 \text{ kW}$ xurgatzen du m^2 bakoitzeko, eta energia hori 500 K -eko tenperatura konstantean dagoen gordailu termikora askatzen du. Potentzia-zikloak beroa xurgatzen du gordelekutik. Horrela, argindarra 1.000 kW potentziaz sortzen du, aldi berean, $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -ko ingurura beroa askatuz.



- a) Kalkulatu atzitzailaren azalera minimoa.
 b) Xurgatutako energiaren % 15 gordailua eta inguruaren arteko nahitaezko bero-transferentzian galtzen bada, kalkula ezazu atzitzailaren azalera minimoa. Potentzia-ziklo errealaren etekina % 27 dela har ezazu.

Emaitzak: a) 7.668 m^2 ; b) 13.833 m^2 .

5.8- Egoera iraunkorrean, hozte-ziklo batek $-3 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan mantentzen du gela bat, barruko janarietatik 1.000 kJ/h beroa xurgatzen duelarik. Zikloak $23 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan dagoen ingurunera energia askatzen duela jakinik, lor ezazu hozkailua eragiteko potentzia minimoa, kW-tan.

Emaitza: $0,0267 \text{ kW}$.

5.9- Etxe baterako bero-ponpa batek eguneko $3,5 \cdot 10^6 \text{ kJ}$ eman behar ditu barrualdeko tenperatura $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan mantentzeko, kanpoaldeko $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ -koa izanik. Energia elektrikoak 8 zentimo kostatzen badu kWh bakoitzeko, kalkula ezazu eguneko koste minimoa. Konpara ezazu beroketa elektriko sistema batenarekin.

Emaitza: $7,96$ euro/egun.

5.10- Ur kilogramo batek Carnot-en zikloa egiten du. Hedapen isotermikoan zehar, 15 bar -eko presioa eta % 25eko tituluko egoera batetik lurrun asearen egoerara heldu arte berotzen da. Ondoren, ur-lurrunak hedapen adiabatikoa jasaten du 1 bar -eko presioa eta % 84,9ko titulua izan arte.

- a) Adieraz ezazu zikloa P - v diagrama baten bidez.
 b) Kalkula itzazu zikloko prozesu guztietan elkarraldututako beroa eta lana.
 c) Zehaztu ezazu etekin termikoa.

Emaitza: c) % 20,9.

5.11- Aire kilogramo erdik, gas idealtzat hartuta, % 50eko etekin termikoko Carnot-en potentzia-ziklo bat burutzen du. Hedapen isotermikoan zeharreko aireranzko bero-transferentzia 40 kJ -koa da. Horren aurretik, presioa 7 bar eta bolumena $0,12 \text{ m}^3$ dira. Aurki itzazu:

- a) zikloko tenperatura maximoa eta minimoa, K-etan.

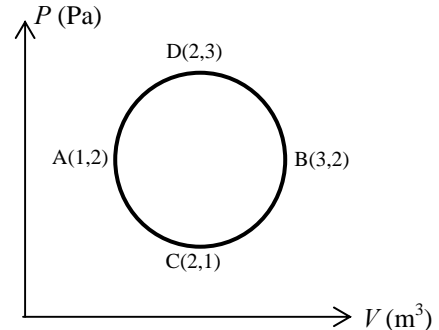
5.- Termodinamikaren bigarren printzipioa

- b) Hedapen isotermikoaren amaierako bolumena, m^3 -tan.
 c) Zikloko lau prozesuetan elkarraldutako lana eta beroa, kJ-tan ($c_V \approx 0,72 \text{ kJ}/(\text{kg K})$).
 d) Adieraz ezazu zikloa P - V diagrama batean.

Emaitzak: a) 585,4 K; 292,7 K; b) 0,193 m^3 .

5.12- Irudian gas biatomiko baten ($k = 1,4$) lan-zikloa dakusagu, sistema itxi batean. Aurkitu:

- a) Zikloaren lana.
 b) A eta B-ren arteko barne-energiaren aldaketa.
 c) AD, DB, BC eta CA prozesuetan xurgatutako beroa.



Emaitzak: a) $\pi \text{ J}$; b) 10,55 J; c) $Q_{AD} = \left(12 + \frac{\pi}{4}\right) \text{ J}$,

$$Q_{DB} = \left(2 + \frac{\pi}{4}\right) \text{ J}, \quad Q_{BC} = \left(-12 + \frac{\pi}{4}\right) \text{ J}, \quad Q_{CA} = \left(-2 + \frac{\pi}{4}\right) \text{ J}.$$

5.13- 0,75 kW-eko motorrak eragindako hozkailu batek 50 kcal/min ateratzen ditu alde hotzetik. Zein da operazio-koefizientea? Zenbat kW·h hartzen ditu alde beroak ordu erdian?

Emaitzak: 4,65; 2,12 kW h.

5.14- Makina termiko baten asmatzaileak iturri batetik ateratzen duen 1.000 energia-unitateko 800 lan mekaniko bihurtzen duela ziurtatzen du. Makinak darabilen iturri beroa 1.027 °C-tan dago, eta iturri hotza 27 °C-tan. Egia ala gezurra dio? Arrazonatu erantzuna.

Emaitzak: Gezurra dio.

5.15- Carnot-en alderantzizko ziklo batek, termoopona modura dabilenak, 4.160 kcal/min-ko eman behar ditu eraikuntza bateko gelak 24 °C-tan mantentzeko, kanpoko tenperatura 16 °C-koa delarik. Prozesu guztiak itzulgarriak direla jota, kalkula ezazu zikloak eskatzen duen potentzia ZP-tan (1 ZP = 735 W).

Emaitzak: 10,63 ZP.

5.16- Motor itzulgarri bat 127 °C eta 0 °C tenperaturen artean dabil. Motorraren potentzia 1 kW dela jakinik, kalkula ezazu iturri hotzera askatutako beroak 10 kg izotz urtzeko beharko lukeen denbora. Izotzaren fusio-beroa (izotz gramoko batek urtzeko behar duen beroa): 80 cal/g.

Errepikatu kalkulua 500 °C eta 27 °C tenperaturen artean dabilen motor itzulgarri baten kasurako.

Emaitza: 25 min 58,2 s; _____.

5.17- Neguko egun batean termoopona batek $7,2 \cdot 10^5$ kcal ematen du etxe baten barruko tenperatura 20 °C-tan mantentzeko (kanpoko tenperatura -10 °C). Kilowatt-orduaren prezioa 0,08 eurokoa dela jakinik, kalkulatu eguneko kostu minimoa eurotan. Zenbat kostatuko luke plaka elektrikoaren bidezko sistema bat erabiliz gero (termooponaren ordez)?

Emaitzak: 6,84 euro eguneko.

5.- Termodinamikaren bigarren printzipioa

5.18- Motor-egile batek honako ezaugarriak dituen zikloa asmatu duela ziurtatzen du. Makinak $527\text{ }^\circ\text{C}$ -tan dagoen fokutik 1.000 kJ xurgatzen ditu, eta 290 K -tan dagoen fokuan 400 kJ askatzen ditu. Posiblea al da? Arrazonatu erantzuna.

Emaitzak: Bai, posiblea da, eta itzulezina da.

5.19- Sistema itxi bateko aire-zikloan, hasierako egoeraren datuak honako hauek dira: 100 kPa , $27\text{ }^\circ\text{C}$ eta $0,860\text{ m}^3/\text{kg}$. 1-2 prozesuan, 275 kPa -erainoko konprimaketa isoentropikoa gertatzen da. Ondoren, 2-3 prozesuan, presio konstantean berotzen da, 1.200 K eta $1,25\text{ m}^3/\text{kg}$ -ko egoera lortu arte. Gero, 3-4 prozesuan, bolumen konstantean hozten da 100 kPa izan arte. Amaitzeko, 4-1 prozesuan, airea presio konstantean hoztuz hasierako egoerara bueltatzen da.

a) Marraz itzazu zikloaren P - v diagrama.

b) Kalkula ezazu kJ/kg -tan zikloaren lan netoa.

c) Kalkula ezazu zikloaren etekin termikoa.

d) Tenperatura maximo eta minimo berdinen artean dabilen Carnot-en motor batek, zein etekin izango luke?

Airearen datuak: $k = 1,4$; $c_p = 1\text{ kJ}/(\text{kg }^\circ\text{C})$.

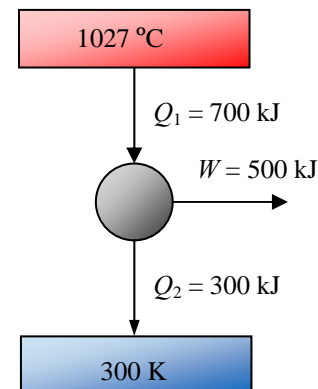
Emaitzak: b) $117,9\text{ kJ/kg}$; c) $\% 14,75$; d) $\% 75$.

5.20- Asmatzaile batek honako makina termikoa garatu du.

a) Zer da potentzia-zikloa ala hozte-zikloa?

b) Posible da makina hau eraikitzea? Zergatik?

Emaitzak: a) Potentzia-zikloa; b) Ez da posible.



5.21- Hozkailu bat $20\text{ }^\circ\text{C}$ -tan dagoen gela batean dago. Barruko tenperatura $-30\text{ }^\circ\text{C}$ -tan mantentzeko barrutik beroa 2 kW -ko erritmoarekin atera behar da. Zein da hozkailua eragin behar duen motorraren potentzia minimoa?

Emaitza: $0,4115\text{ kW}$.

5.22- H_2 konprimitzen da, tenperatura konstantean, 2 bar eta $7,7\text{ m}^3/\text{kg}$ -tik 10 bar -eraino. Jarraian, adiabatikoki hedatzen da $2,5\text{ bar}$ -eraino. Ondoren zikloa politropiko baten bidez ixten dugu. Aurki itzazu:

a) presioa, bolumen espezifikoa eta tenperatura zikloaren erpin bakoitzean.

b) Termoponparen operazio-koefizientea.

c) Termoponpa eragiten duen motorraren potentzia, kW -tan, H_2 -ren masa-emaria 80 kg/h dela jakinik.

Hidrogenoaren datuak: $c_p = 14,2\text{ kJ}/(\text{kg }^\circ\text{C})$; $k = 1,4$.

Emaitzak: b) $5,687$; c) $9,686\text{ kW}$.

5.- Termodinamikaren bigarren printzipioa

	$P(\text{bar})$	$v(\text{m}^3/\text{kg})$	$T(\text{K})$
1	2	7,7	370
2	10	1,54	370
2	2,5	4,15	249

5.23- 20 ZP-ko kotxe batek 100 km-tan 7 litro gasolina erretzen du, 60 km/h-ko batezbesteko abiadura doalarik. Gasolinaren dentsitate erlatiboa 0,86 da, eta bere eduki energetikoa 44.000 kJ/kg. Lortu motorraren etekina.

Emaitza: % 33,3.

5.24- Bi makinek Carnot-en zikloari jarraitzen diote. Lehenengoak $T_1 = 1.500 \text{ K}$ -en (iturri beroa) eta T_2 -ren (iturri hotza) artean lan egiten du; eta bigarrenak, aldiz, T_2 -ren (iturri beroa) eta $T_3 = 500 \text{ K}$ -en (iturri hotza) artean. Lehenengo makinak igorritako beroa bigarrenak xurgatzen du. Aurkitu T_2 temperaturaren balioa bi makinek ekoiztutako lanak berdina izan daitezten.

Emaitza: 1.000 K.

5.25- Zentral termiko batek $6,4 \cdot 10^9 \text{ kWh}$ ekoizten du urtebetean. Bere etekin erreala 0,43 da. Askatutako beroa $15 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan dagoen uraren bidez kentzen da. Hozteko uraren emaria $30 \text{ m}^3/\text{s}$ -koa bada, aurkitu amaieran urak izango duen temperatura. Uraren bero espezifikoa: $c_{\text{ura}} = 4,187 \text{ kJ}/(\text{kg K})$.

Emaitzak: $22,7 \text{ }^\circ\text{C}$.

5.26- Bero-ponpa bat erabiliz, norentzat da merkeagoa 1 kW-eko bero-fluxua etxe barruan sartzea, Siberiako familia batentzat ala Gipuzkoako familia batentzat? Zenbat merkeago ehunekoetan? Suposatu Siberian eta Gipuzkoan argi-indarraren salneurria berdina dela.

Datuak: - Etxe barruko temperatura: $19 \text{ }^\circ\text{C}$.

- Siberiako batezbesteko temperatura neguan: $-15 \text{ }^\circ\text{C}$.

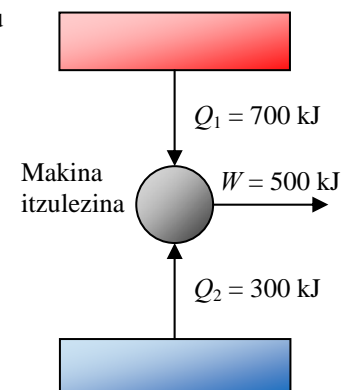
- Gipuzkoako batezbesteko temperatura neguan: $5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Emaitzak: Gipuzkoako familiarentzat; % 58,82 merkeagoa.

5.27- Alboko irudiko makina termikoa aztertu, eta esan ea ondoko lau baieztapenak egia ala gezurra diren erantzuna azalduz:

- Makina termikoa potentzia-ziklo bat da.
- Makinak ez du betetzen Termodinamikaren lehenengo printzipioa.
- Termodinamikaren bigarren printzipioa betetzen du.
- Lehenengo eta bigarren printzipioak ez ditu betetzen.

Emaitzak: a) Egia; b) Egia; c) Gezurra; d) Egia.



5.28- Ibilgailu baten motorrak orduko 10 litro erregai erabiltzen du, eta 30 kW-ko potentzia transferitzen die gurgilei. Erregaiak 44.000 kJ/kg-ko eduki energetikoa eta $800 \text{ kg}/\text{m}^3$ -ko dentsitatea dituela jakinik, kalkula ezazu motorraren etekin termikoa.

Emaitza: % 30,68.

5.- Termodinamikaren bigarren printzipioa

5.29- Sistema itxi batean honako hiru prozesuak gertatu dira:

- 1: Adiabatikoa, barne-energia 20 kJ-tan gehitzen da.
- 2: Sistemak 30 kJ bero xurgatzen du barne-energiak aldaketarik jasaten ez duelarik.
- 3: Sistemak 20 kJ-ko lana egiten du bere barne energia 20 kJ-tan gutxitzen delarik.

Esan zergatik ezin duten hiru prozesu horiek ziklo bat osatu.

Eraitza: 1. Printzipioa betetzen dute; 2. Printzipioa ez dute betetzen.

5.- Termodinamikaren bigarren printzipioa

6.- Entropia

OINARRIZKO EKUAZIOAK

1) Clausius-en teorema (ziklo itzulgarriak):

$$\oint_{IG} \frac{\delta Q}{T} = 0.$$

2) Clausius-en desberdintasuna (ziklo itzulezinak):

$$\oint_{IE} \frac{\delta Q}{T} < 0.$$

3) Entropia prozesu itzulgarrietan: $\Delta S = S_2 - S_1 = \int_{IG} \frac{\delta Q}{T}$.

4) Gas idealen entropia-aldaketa hainbat aldagairen funtzioan:

$$\Delta s(T, v) = \int \frac{c_v dT}{T} + \int \frac{R dv}{v} = \int \frac{c_v dT}{T} + R \ln\left(\frac{v'}{v}\right) \approx c_v \ln\left(\frac{T'}{T}\right) + R \ln\left(\frac{v'}{v}\right).$$

$$\Delta s(T, P) = \int \frac{c_p dT}{T} - \int \frac{R dP}{P} = \int \frac{c_p dT}{T} - R \ln\left(\frac{P'}{P}\right) \approx c_p \ln\left(\frac{T'}{T}\right) - R \ln\left(\frac{P'}{P}\right).$$

$$\Delta s(P, v) = \int \frac{c_p dv}{v} - \int \frac{c_v dP}{P} \approx c_p \ln\left(\frac{v'}{v}\right) + c_v \ln\left(\frac{P'}{P}\right).$$

5) Entropiaren printzipioa:

$$\Delta S_{unibertsoa} = \Delta S_{sistema} + \Delta S_{ingurunea} \geq 0.$$

Prozesu itzulgarrietan: $\Delta S_{unibertsoa} = 0$.

Prozesu itzulezinetan: $\Delta S_{unibertsoa} > 0$.

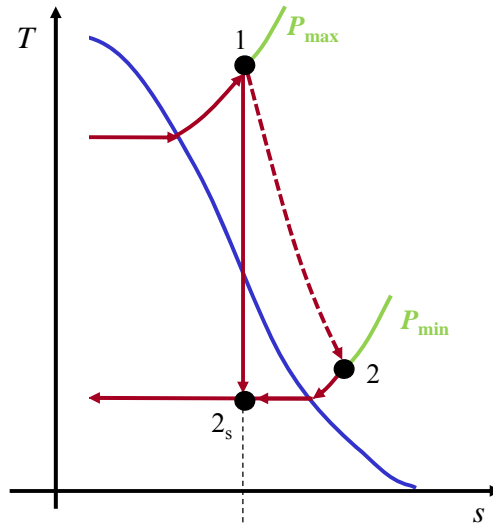
6.- Entropia

6) Etekin isoentropikoa:

- Turbina:

$$\eta_s = \frac{W_{kb}}{(W_{kb})_s} \rightarrow 0,7 < \eta_s < 0,9.$$

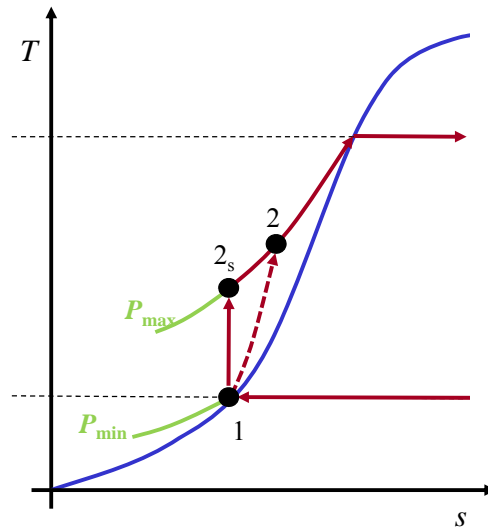
$$\eta_s = \frac{(h_1 - h_2)}{(h_1 - h_{2s})}.$$



- Ponpa edo konprimagailua:

$$\eta_s = \frac{(W_{kb})_s}{W_{kb}} \rightarrow 0,75 < \eta_s < 0,85.$$

$$\eta_s = \frac{(h_1 - h_{2s})}{(h_1 - h_2)}.$$



- Haizebidea: $\eta_s = \frac{c_2^2/2}{(c_2^2/2)_s} \rightarrow \eta_s > 0,95.$

6.- Entropia

EBATZITAKO ARIKETAK

6.A- 3 kg ur-masa 3 baretan dago % 60ko tituluarekin. Ur-masa hau isobarikoki likido asearen egoerara pasatzen da, 500 K-etan dagoen bero-foku batera beroa askatuz. Arrazoitu ea prozesua termodinamikoki posiblea den ala ez. Zein temperaturaren azpitik egon behar da ingurunea prozesua itzulezina izateko?

P (kPa)	v_f (m ³ /kg)	v_g (m ³ /kg)	u_f (kJ/kg)	u_g (kJ/kg)	h_f (kJ/kg)	h_g (kJ/kg)	s_f (kJ/kg K)	s_g (kJ/kg K)	P (kPa)
275	0,001070	0,6574	548,73	2540,5	549,02	2721,3	1,6411	7,0211	275
300	0,001073	0,6059	561,29	2543,5	561,61	2725,3	1,6721	6,9921	300
325	0,001076	0,5620	573,04	2546,3	573,39	2729,0	1,7009	6,9654	325

Ebazpena: Hasierako eta amaierako entalpiak:

$$h_1 = (1 - x) \cdot h_f(3 \text{ bar}) + x \cdot h_g(3 \text{ bar}) = (1 - 0,60) \cdot 561,61 + 0,60 \cdot 2.725,3 = 1.859,82 \text{ kJ/kg}.$$

$$h_2 = 561,61 \text{ kJ/kg}.$$

Prozesua isobarikoa izateagatik:

$$Q = W + \Delta U = P \cdot \Delta V + \Delta U = \Delta H = m \cdot (h_2 - h_1) = 3 \cdot (561,61 - 1.859,8) = -3.894,63 \text{ kJ}.$$

$$\text{Ingurunearen entropia-aldaketa: } (\Delta S)_{\text{foku}} = \frac{|Q|}{T_{\text{foku}}} = \frac{3.894,6}{500} = 7,7892 \text{ kJ/K}.$$

Uraren entropia prozesuaren hasieran eta bukaeran:

$$s_1 = (1 - x) \cdot s_f(3 \text{ bar}) + x \cdot s_g(3 \text{ bar}) = (1 - 0,60) \cdot 1,6721 + 0,60 \cdot 6,9921 = 4,8641 \text{ kJ/(kg K)}.$$

$$s_2 = 1,6721 \text{ kJ/(kg K)}.$$

$$(\Delta S)_{\text{ura}} = m \cdot (s_1 - s_2) = 3 \cdot (1,6721 - 4,8641) = -9,576 \text{ kJ/K}.$$

$$(\Delta S)_{\text{unibertsoa}} = (\Delta S)_{\text{foku}} + (\Delta S)_{\text{ura}} = 7,7892 + (-9,576) = -1,7868 \text{ kJ/K} < 0. \text{ Beraz, ezinezkoa da.}$$

Prozesua 133,6 °C-tan gertatuz gero itzulgarria litzateke, eta horren azpitik itzulezina.

6.B- 7 kg/s-ko emariko ur-lurrunezko fluxu bat turbina adiabatiko batera sartzen da honako egoeran: 3 MPa eta 500 °C. Irteeran, lurrunaren presioa 0,3 MPa-ekoa da. Energia zinetikoa zein potentzialaren aldaketak mesprezaturik:

a) kalkula itzazu turbinak eman dezakeen potentzia teoriko maximoa, kW-tan, eta dagokion lurrunaren irteerako temperatura, °C-tan.

b) Ur-lurruna turbinatik 240 °C-tan irteten bada, lor ezazu etekin isoentropikoa.

Ebazpena: a) Tauletatik honako balioak lortzen ditugu: $h_1 = 3.456,5 \text{ kJ/kg}$ eta $s_1 = 7,2338 \text{ kJ/(kg K)}$.

6.- Entropia

Turbina adiabatikoa eta itzulgarria denez, $\Delta s = 0$ da ($s_1 = s_2$). $s_2 > s_g(0,3 \text{ MPa})$ da, beraz, uraren amaierako egoera lurrun gainberotua da. Entalpia eta tenperatura lortzeko interpolazioa egin behar da lurrun gainberotuaren 0,3 MPa-ko taulan:

$$T_2 = 160 + \frac{(200 - 160)}{(7,3115 - 7,1276)} \cdot (7,2338 - 7,1276) = 183,1 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$h_2 = 2.782,3 + \frac{(2.865,5 - 2.782,3)}{(7,3115 - 7,1276)} \cdot (7,2338 - 7,1276) = 2.830,35 \text{ kJ/kg}.$$

$$\dot{W}_s = -\dot{m} \cdot \Delta h = 4.383,07 \text{ kW}.$$

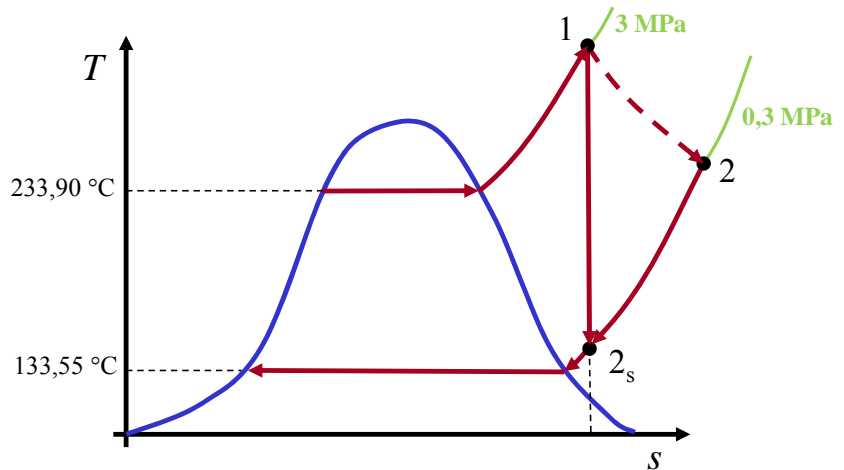
b) Lurrun gainberotuaren tauletatik:

$$h'_2 = 2.947,3 \text{ kJ/kg}.$$

$$\dot{W}_s = -\dot{m} \cdot \Delta h' = 3.564,4 \text{ kW}.$$

Turbinaren etekin isoentropikoa:

$$\eta = \frac{\dot{W}}{\dot{W}_s} = 0,8132.$$



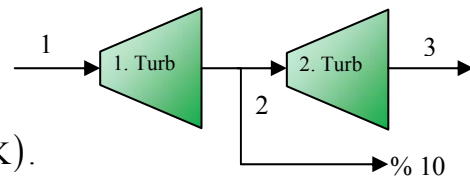
6.C- Ur-lurrunaren 15 kg/s-ko emaria, bi etapako turbina adiabatiko batera sartzen da 6 MPa-etan eta 500 °C-tan. Lehenengo etaparen amaieran, presioa 1 MPa-ekoa delarik, fluxuaren % 10 desbideratzen da berriztagailu batean erabiltzeko. Gainontzekoa bigarren etapan hedatzen da 50 kPa-eko azken presioraino. Aurkitu tenperatura eta lurrunaren egoera aldi bakoitzaren amaieran, eta turbinak garatutako potentzia hurrengo kasuetan:

- turbina itzulgarria da.
- Aldi bakoitzaren etekin isoentropikoa % 88 da.
- (b) kasuan, zein izango litzateke sistema osoaren etekin isoentropikoa?

Ebazpena: Hasierako egoeraren datuak:

$$h_1 = 3.422,3 \text{ kJ/kg}; s_1 = 6,8805 \text{ kJ/(kg K)}.$$

$$\text{a) Bi turbina isoentropikoak: } s_2 = s_3 = s_1 = 6,8805 \text{ kJ/(kg K)}.$$



$s_2 > s_g(1 \text{ MPa})$ denez, 2. egoeran ur-lurrun gainberotua dago:

$$h_2 = 2.827,4 + \left(\frac{2.941,9 - 2.827,4}{6,9235 - 6,6932} \right) \cdot (6,8805 - 6,6932) = 2.920,5 \text{ kJ/kg}.$$

$$T_2 = 200 + \left(\frac{250 - 200}{6,9235 - 6,6932} \right) \cdot (6,8805 - 6,6932) = 240,7 \text{ } ^\circ\text{C} = 513,7 \text{ K}.$$

$s_3 < s_g(50 \text{ kPa})$ denez, 3. puntuan lurrun hezea daukagu: $T_3 = 81,34 \text{ } ^\circ\text{C} = 354,34 \text{ K}.$

6.- Entropia

$$x_3 = \left(\frac{6,8805 - 1,0912}{7,5928 - 1,0912} \right) = 0,8904 .$$

$$h_3 = (1 - 0,8904) \cdot 340,54 + 0,8904 \cdot 2.645,3 = 2.392,8 \text{ kJ/kg} .$$

Bi turbinek garatutako potentzia osoa: $\dot{W} = \dot{m} \cdot (h_1 - h_2) + 0,9 \cdot \dot{m} \cdot (h_2 - h_3) .$

$$\dot{W} = 15 \cdot (3.422,3 - 2.920,5) + 13,5 \cdot (2.920,5 - 2.392,8) = 14.651,1 \text{ kW} .$$

b) Turbina itzulezinetarako:

$$h_2 = 3.422,3 - 0,88 \cdot (3.422,3 - 2.920,5) = 2.980,7 \text{ kJ/kg} .$$

$$T_2 = 250 + \left(\frac{300 - 250}{3.050,6 - 2.941,9} \right) \cdot (2.980,7 - 2.941,9) = 267,9^\circ \text{C} . \text{ Lurrun gainberotua.}$$

$$s_2 = 6,9235 + \left(\frac{7,1219 - 6,9235}{3.050,6 - 2.941,9} \right) \cdot (2.980,7 - 2.941,9) = 6,9944 \text{ kJ/(kg K)} = s_{3S} .$$

$$x_{3S} = \left(\frac{6,9944 - 1,0912}{7,5928 - 1,0912} \right) = 0,9080 .$$

$$h_{3S} = (1 - 0,9080) \cdot 340,54 + 0,9080 \cdot 2.645,3 = 2.433,2 \text{ kJ/kg} .$$

$$h_3 = 2.980,7 - 0,88 \cdot (2.980,7 - 2.433,2) = 2.498,9 \text{ kJ/kg} .$$

$$x_3 = \left(\frac{2.498,9 - 340,54}{2.645,3 - 340,54} \right) = 0,9365 \rightarrow T_3 = 81,339^\circ \text{C} . \text{ Lurrun hezea.}$$

$$\dot{W} = 15 \cdot (3.422,3 - 2.980,7) + 13,5 \cdot (2.980,7 - 2.498,9) = 13.128,6 \text{ kW} .$$

c) Sistema osoaren etekin isoentropikoa: $\eta_t = \frac{13.128,6}{14.651,1} = 0,8962 .$

6.D- 80 °C-tan dagoen 10 kg ur, -8 °C-tan dagoen 5 kg izotzarekin nahasten dugu. Izotzaren fusio-bero sorra 80 cal/g da. Nahasketaren prozesua gordailu isolatu batean gertatzen dela jotzen badugu, zehaztu:

a) entropiaren aldaketa uraren kasuan.

b) Entropiaren aldaketa izotzaren kasuan.

c) Nahasketaren prozesua itzulgarria da?

Datuak: $c_{izotza} = 0,5 \text{ cal/(g } ^\circ\text{C)}$; $c_{ura} = 1 \text{ cal/(g } ^\circ\text{C)}$.

Ebazpena: Izotzak hiru prozesu jasango ditu, eta xurgatuko dituen beroak hauek dira:

1) $[-8^\circ \text{C (izotza)} \rightarrow 0^\circ \text{C (izotza)}] \rightarrow \Delta Q_1 = m_{izotza} \cdot c_{izotza} \cdot (T_2 - T_1) = 20 \text{ kcal} .$

2) $[0^\circ \text{C (izotza)} \rightarrow 0^\circ \text{C (ura)}] \rightarrow \Delta Q_2 = m_{izotza} \cdot q = 400 \text{ kcal} .$

6.- Entropia

$$3) [0\text{ }^{\circ}\text{C (ura)} \rightarrow T\text{ }^{\circ}\text{C (ura)}] \rightarrow \Delta Q_3 = m_{\text{izotza}} \cdot c_{\text{ura}} \cdot (T - T_1).$$

$$\text{Oreka egoerarako: } \Delta Q_1 + \Delta Q_2 + \Delta Q_3 = |\Delta Q_{\text{ura}}| = m_{\text{ura}} \cdot c_{\text{ura}} \cdot (T - T_0) \rightarrow T = 25,33\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

$$\Delta S_{\text{ura}} = \int_{353}^{298,3} m_{\text{ura}} \cdot c_{\text{ura}} \frac{dT}{T} = -1,683 \frac{\text{kcal}}{\text{K}}.$$

$$\Delta S_{\text{izotza}} = \int_{265}^{273} m_{\text{izotza}} \cdot c_{\text{izotza}} \frac{dT}{T} + \frac{\Delta Q_2}{T} + \int_{273}^{298,3} m_{\text{izotza}} \cdot c_{\text{ura}} \frac{dT}{T} = 1,983 \frac{\text{kcal}}{\text{K}}.$$

$$\Delta S_{\text{sistema}} = \Delta S_{\text{ura}} + \Delta S_{\text{izotza}} = 0,299 \frac{\text{kcal}}{\text{K}}. \text{ Itzulezina da.}$$

6.E- 1,36 kg-ko oxigeno-masa batek prozesu isobariko bat jaso du era itzulgarrian. Prozesuan oxigenoaren entropia aldatu da: $\Delta S_{12} = -0,15 \text{ kcal}/(\text{kg K})$. Hasierako egoeraren datuak hauek dira: $V_1 = 0,5 \text{ m}^3$ eta $T_1 = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kalkulatu:

- barne-energiaren aldaketa.
- Entalpiaren aldaketa.
- Egindako lana.
- Emandako beroa.

Datuak: $c_v = 0,712 \text{ kJ}/(\text{kg K})$, $R = 0,260 \text{ kJ}/(\text{kg K})$.

$$\text{Ebazpena: } P_1 = P_2 \rightarrow \Delta s = c_p \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) \rightarrow T_2 = T_1 \exp\left(\frac{\Delta s}{c_p}\right) = 473 \cdot \exp\left(\frac{-0,15 \cdot 4,187}{0,712 + 0,260}\right) \approx 247,9 \text{ K}.$$

- $\Delta U = m \cdot c_v \cdot \Delta T = 1,36 \cdot 0,712 \cdot (247,9 - 473) = -218,0 \text{ kJ}.$
- $\Delta H = m \cdot c_p \cdot \Delta T = 1,36 \cdot (0,712 + 0,260) \cdot (247,9 - 473) = -297,6 \text{ kJ}.$
- $W_{12} = P \cdot (V_2 - V_1) = m \cdot R \cdot (T_2 - T_1) = 1,36 \cdot 0,260 \cdot (247,9 - 473) = -79,6 \text{ kJ}.$
- $Q_{12} = \Delta U + W_{12} = -218,0 + (-79,6) = -297,6 \text{ kJ}.$

6.F- Zilindro baten barruan airea dago honako baldintzetan: $P_1 = 280 \text{ kPa}$, $V_1 = 9,5 \text{ l}$ eta $T_1 = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Airea $P_2 = 160 \text{ kPa}$ -eko presioraino hedatzen da era itzulezinean. Hedapenean, aireak $30 \text{ kJ}/\text{kg}$ -ko lana egiten du eta $14 \text{ kJ}/\text{kg}$ -ko beroa askatzen du ingurura. Kalkula itzazu:

- amaierako tenperatura eta bolumena.
- Airearen entropia-aldaketa, kilogramoko.
- Zein tenperaturaren azpitik egon behar da ingurunea prozesua posiblea izan dadin?

Datuak: $c_p = 1,007 \text{ kJ}/(\text{kg K})$; $c_v = 0,720 \text{ kJ}/(\text{kg K})$.

6.- Entropia

Ebazpena: a) $\Delta u = q - w = c_v \cdot (T_2 - T_1) \rightarrow T_2 = \frac{(q - w)}{c_v} + T_1 = \frac{((-14) - 30)}{0,720} + 60 = -1,11^\circ\text{C}.$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \rightarrow V_2 = V_1 \cdot \left(\frac{P_1 \cdot T_2}{P_2 \cdot T_1} \right) = 9,5 \cdot \left(\frac{280 \cdot 271,89}{160 \cdot 333} \right) = 13,57 \text{ litro.}$$

b) $\Delta s = 1,007 \cdot \ln\left(\frac{271,89}{333}\right) - 0,287 \cdot \ln\left(\frac{160}{280}\right) = -0,04355 \text{ kJ/(kg K)}.$

c) $(\Delta s)_{\text{unibertsoa}} = \frac{14}{T_{\text{ingur}}} - 0,04355 > 0 \rightarrow T_{\text{ingur}} < \frac{14}{0,04355} \approx 321,5 \text{ K} = 48,5^\circ\text{C}.$

6.G- Ur-lurrunezko turbina batean tobera itzulgarri eta adiabatikoa erabiltzen da hegal birakorretara iristen den ur-lurrunaren abiadura handitzeko. Lurruna toberara 800 kPa-etan eta 250 °C-tan iristen da, eta 60 kPa-eko presiopean irteten da. Kalkulatu:

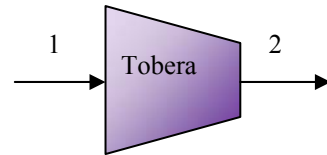
a) lurrunaren entalpia toberaren irteeran.

b) Lurrunaren abiadura toberaren irteeran, sarrerakoa mesprezagarria harturik.

Ebazpena: Toberaren sarrerako datuak: $h_1 = 2.949,3 \text{ kJ/kg}$; $s_1 = 7,0373 \text{ kJ/(kg K)}$.

a) Prozesua itzulgarria eta adiabatikoa denez, sarrerako eta irteerako entropiak berdinak dira:

$$s_2 = s_1 \rightarrow x_2 = \left(\frac{7,0373 - 1,1454}{7,5310 - 1,1454} \right) = 0,922685.$$

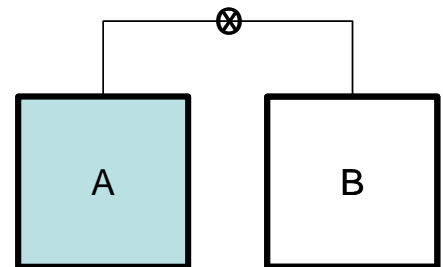


$$h_2 = (1 - 0,922685) \cdot 359,90 + 0,922685 \cdot 2.653,0 = 2.475,71 \text{ kJ/kg}.$$

b) $\Delta h = -\Delta e_z \rightarrow (h_2 - h_1) = -\frac{1}{2}(c_2^2 - c_1^2).$

$$c_2 = \sqrt{2 \cdot (h_1 - h_2)} = \sqrt{2 \cdot (2.949,3 - 2.475,71) \cdot 10^3} = 973,23 \text{ m/s}.$$

6.H- Bi gordailu balbula eta hodi baten bidez konektatzen dira (ikus alboko irudia). Bi gordailuen bolumenak 1 m³-koak dira. A gordailuan R-134a hozgarria dago, 20 °C-tan eta % 25ko tituluarekin, eta B gordailua hutsik dago. Balbula irekitzean lurrun ase dario A-tik B-ra, presioak berdindu arte. Prozesua astiro gertatzen da, horrela bi gordailuak 20 °C-tan mantentzen dira.



a) Aurkitu R-134a hozgarrirako bero-transferentzia prozesuan zehar.

b) Bero-transferentzia, 20 °C-tan ere dagoen bero-foku batetik egiten bada, aurkitu unibertsoaren entropia-aldaketa. Prozesua itzulgarria ala itzulezina da? Zein da itzulezintasunaren iturria?

Ebazpena: a) Hasierako egoeraren datuak:

$$v_A = (1 - x) \cdot v_f(20^\circ\text{C}) + x \cdot v_g(20^\circ\text{C}) = 0,75 \cdot 0,8157 \cdot 10^{-3} + 0,25 \cdot 0,0358 = 0,00956 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

6.- Entropia

$$u_A = (1-x) \cdot u_f(20^\circ\text{C}) + x \cdot u_g(20^\circ\text{C}) = 117,08 \text{ kJ/kg}.$$

$$\text{R-134a hozgarriaren masa totala: } m = \frac{V_A}{v_A} = 104,6 \text{ kg}.$$

Balbula zabaltzean, hozgarriaren masa osoa bi gordailuen artean banatuko da:

$$v' = \frac{V}{m} = \frac{(V_A + V_B)}{m} = 0,01912 \text{ m}^3/\text{kg} < v_g(20^\circ\text{C}). \text{ Beraz, sisteman lurrun hezea geratzen da.}$$

Amaierako egoeraren barne-energia kalkulatu dezakegu:

$$v' = (1-x') \cdot v_f(20^\circ\text{C}) + x' \cdot v_g(20^\circ\text{C}) \rightarrow x' = 0,5232 \rightarrow u' = 161,09 \text{ kJ/kg}.$$

Hedapen prozesuan hozgarriak xurgatutako beroa:

$$Q = m \cdot (u' - u_A) = 4.603,4 \text{ kJ}.$$

$$\text{b) } s_A = 0,44685 \text{ kJ}/(\text{kg K}) \text{ eta } s' = 0,6156 \text{ kJ}/(\text{kg K}).$$

$$\text{Sistemaren entropia-aldaketa: } \Delta S_{\text{sistema}} = m \cdot (s' - s_A) = 17,659 \text{ kJ/K}.$$

$$\text{Ingurunearen entropia-aldaketa: } \Delta S_{\text{ingurunea}} = \frac{Q}{T} = \frac{-4.603,4}{293} = -15,717 \text{ kJ/K}.$$

$$\text{Unibertsoaren entropia-aldaketa: } \Delta S_{\text{unibertsoa}} = 1,942 \text{ kJ/K}.$$

Unibertsoaren entropia-aldaketa positiboa denez, prozesua itzulezina da. Sistemaren tenperatura, fokuen tenperaturaren berdina, konstante mantendu arren, prozesua ez da itzulgarria. Itzulezintasunaren bi iturri daude: hutsaren aurkako hedapena eta iratopena.

6.I- % 90 tituluko eta 100 kPa-etan dagoen R134a hozgarria, 800 kPa-era konprimitzen da, 72 kg/h-ko erritmoan. Kontsumitutako potentzia 1,05 kW da. Konpresorearen bero-askapena 5,90 kJ/min-koa bada, kalkulatu:

a) hozgarriaren bukaerako tenperatura eta bolumen espezifikoa.

b) Unibertsoaren entropia-aldaketa denbora unitateko, ingurunea 20 °C-tan dagoela suposatuz.

Ebazpena: a) Unitate-aldaketak:

$$\dot{m} = 0,02 \text{ kg/s}.$$

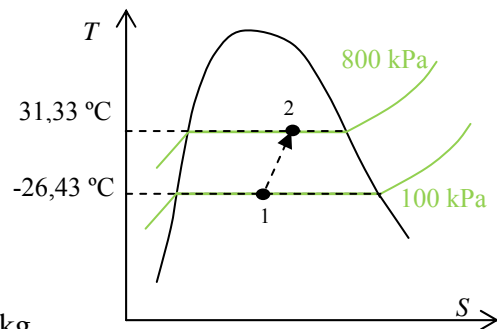
$$\dot{Q} = -9,8333 \cdot 10^{-2} \text{ kJ/s}.$$

Hasierako egoeraren datuak ($x_1 = 0,9$):

$$h_1 = (1-x_1) \cdot h_f(100 \text{ kPa}) + x_1 \cdot h_g(100 \text{ kPa}) = 209,84 \text{ kJ/kg}.$$

$$s_1 = (1-x_1) \cdot s_f(100 \text{ kPa}) + x_1 \cdot s_g(100 \text{ kPa}) = 0,85233 \text{ kJ}/(\text{kg K}).$$

$$\text{Lehenengo printzipioa sistema irekietan: } \dot{m} \cdot h_1 + \dot{Q} = \dot{W} + \dot{m} \cdot h_2.$$



6.- Entropia

$$0,02 \cdot 209,84 - 0,098333 = -1,05 + 0,02 \cdot h_2 .$$

$$h_2 = 257,427 \text{ kJ/kg} < h_g(800 \text{ kPa}).$$

Hortaz, 2. puntuan lurrun hezea dago, eta bere tenperatura 31,33 °C-koa da.

$$h_2 = 257,427 = (1 - x_2) \cdot h_f(800 \text{ kPa}) + x_2 \cdot h_g(800 \text{ kPa}) \rightarrow x_2 = 0,9606 .$$

$$v_2 = (1 - x_2) \cdot v_f(800 \text{ kPa}) + x_2 \cdot v_g(800 \text{ kPa}) = 0,02453 \text{ m}^3/\text{kg} .$$

$$b) s_2 = (1 - x_2) \cdot s_f(800 \text{ kPa}) + x_2 \cdot s_g(800 \text{ kPa}) = 0,88452 \text{ kJ}/(\text{kg K}).$$

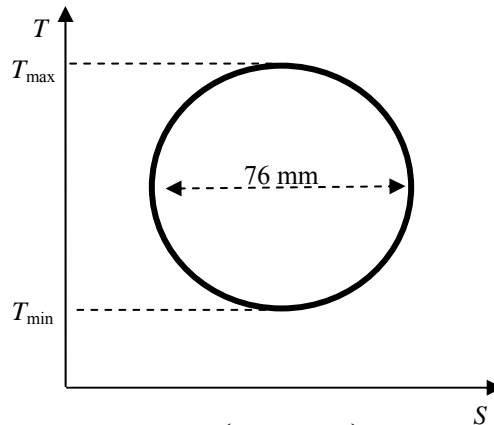
$$\Delta S_{\text{sistema}} = \dot{m} \cdot (s_2 - s_1) = 6,438 \cdot 10^{-4} \text{ kJ}/(\text{K s}).$$

$$\Delta S_{\text{ingurunea}} = \frac{\dot{Q}}{T_o} = \frac{+0,0983}{293} = 3,356 \cdot 10^{-4} \text{ kJ}/(\text{K s}).$$

$$\Delta S_{\text{unibertsoa}} = 9,794 \cdot 10^{-4} \text{ kJ}/(\text{K s}).$$

6.J- Motor batek beheko irudiko ziklo zirkular itzulgarria burutzen du. Zikloaren diametroa 76 mm-koa da. Irudiko milimetro bakoitzak 2 °C-ko tarte adierazten du tenperatura-ardatzean, eta 10⁻³ kJ/K-eko tarte entropia-ardatzean. Zikloaren etekin termikoa % 30 da eta motorrak 75 ZP-ko potentzia ematen du.

- Zein da motorrak ziklo bakoitzean ematen duen lana kJ-tan?
- Zenbat ziklo egiten ditu motorrak minutuko?
- Zeintzuk dira zikloko tenperatura maximoa eta minimoa?



$$\text{Ebazpena: a) } W_{\text{ziklo}} = \pi \cdot 38^2 \text{ mm}^2 \cdot \left(\frac{2 \text{ K}}{\text{mm}} \right) \cdot \left(\frac{10^{-3} \text{ kJ}/\text{K}}{\text{mm}} \right) = 9,07 \text{ kJ} .$$

$$b) 75 \cdot 0,735 \cdot 60 \frac{\text{kJ}}{\text{min}} \cdot \frac{\text{ziklo}}{9,07 \text{ kJ}} = 364,66 \frac{\text{ziklo}}{\text{min}} .$$

$$c) |Q_1| = \frac{W_{\text{ziklo}}}{\eta} = T' \cdot (\Delta S)_{76 \text{ mm}} + \frac{W_{\text{ziklo}}}{2} \rightarrow T' = \left(\frac{9,07 \text{ kJ}}{76 \cdot 10^{-3} \text{ kJ}/\text{K}} \right) \cdot \left(\frac{1}{0,30} - \frac{1}{2} \right) \approx 338 \text{ K}$$

6.- Entropia

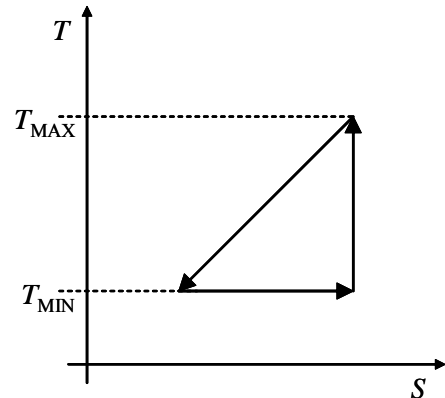
$$T_{\max} = 338 + 38 \cdot 2 = 414 \text{ K}$$

$$T_{\min} = 338 - 38 \cdot 2 = 262 \text{ K}$$

6.K- Irudiko zikloa itzulgarria da, motor batena ala hozkailu batena da? Motorra bada, eman bere etekin termikoa, eta hozkailua bada, eman bere operazio-koefizientea. Emaitzak T_{\max} eta T_{\min} temperaturren funtzioan eman behar dira.

Ebazpena: Hozkailua da.

$$\beta = \frac{T_{\min} \cdot |\Delta S|}{\frac{1}{2}(T_{\max} - T_{\min})|\Delta S|} = \frac{2T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}}$$



6.L- 0,1 m³-ko bolumeneko pistoidun zilindro batek, bere barruan 0,5 kg ura dauka 0,4 MPa-tan. Presioa konstante mantenduz, ur-lurrinari beroa ematen zaio temperatura 300 °C-raino ailegatu arte. Kanpoko temperatura 180 °C-tan konstante mantentzen da. Prozesua irudikatu. Kalkulatu bero-transferentzia, lana eta unibertsoaren entropia-aldaketa.

Ebazpena: $v_1 = 0,2 \text{ m}^3/\text{kg} \rightarrow v_f(0,4 \text{ MPa}) < v_1 < v_g(0,4 \text{ MPa})$. Beraz, lurrun hezea da.

Hasierako egoeraren ezaugarriak:

$$v_1 = 0,2 \text{ m}^3/\text{kg} = (1 - x_1) \cdot v_f(0,4 \text{ MPa}) + x_1 \cdot v_g(0,4 \text{ MPa}) \rightarrow x_1 = 0,4311$$

$$u_1 = (1 - x_1) \cdot u_f(0,4 \text{ MPa}) + x_1 \cdot u_g(0,4 \text{ MPa}) = 1.444,50 \text{ kJ/kg}$$

$$s_1 = (1 - x_1) \cdot s_f(0,4 \text{ MPa}) + x_1 \cdot s_g(0,4 \text{ MPa}) = 3,9833 \text{ kJ/(kg K)}$$

Amaierako egoeran lurrun gainberotua daukagu (0,4 MPa eta 300 °C):

$$\begin{cases} v_2 = 0,6548 \text{ m}^3/\text{kg} \\ u_2 = 2.804,4 \text{ kJ/kg} \\ s_2 = 7,5654 \text{ kJ/kg} \end{cases}$$

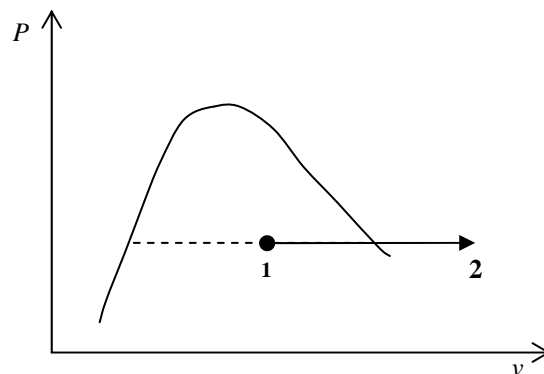
$$W = m \cdot P \cdot (v_2 - v_1) = 90,96 \text{ kJ}$$

$$Q = W + m \cdot \Delta u = 770,91 \text{ kJ}$$

$$\Delta S_{\text{ura}} = m \cdot (s_2 - s_1) = 1,7910 \text{ kJ/K}$$

$$\Delta S_{\text{ingurunea}} = \frac{-|Q|}{T} = \frac{-770,91}{453} = -1,7018 \text{ kJ/K}$$

$$\Delta S_{\text{unibertsoa}} = \Delta S_{\text{ura}} + \Delta S_{\text{ingurunea}} = 0,0892 \text{ kJ/K}$$



6.- Entropia

ARIKETAK EMAITZEKIN

6.1- Adierazi ea ondoko baieztapenak egiazkoak ala gezurrezkoak diren:

- a) Sistema itxi baten entropia-aldakuntza berdina da bi egoera jakinen arteko edozein prozesutan.
- b) Sistema itxi baten entropia ezin da gutxitu.
- c) Gas ideal baten masa jakin baten entropia gutxitu egiten da edozein konprimaketa isotermikotan.
- d) Gas ideal baten barne-energia, entalpia eta entropia, temperaturaren funtzioak dira soilik.
- e) Sistema isolatu baten entropia ezin da txikitu.
- f) Gas ideal baten masa finko baten entropia beti jaitsiko da edozein hedapen isotermikotan.
- g) Entropiaren aldakuntza $dS = \delta Q/T$ da, prozesu itzulgarrietan zein itzulezinetan.
- h) Unibertsoaren entropia ezin da txikitu.
- i) Substantzia baten entropia-aldaketa bi egoera zehaztuen artean berdina da prozesu itzulgarrietan, zein itzulezinetan.
- j) Lana osorik bero bihurtzen duen etengabeko prozesua ezinezkoa da.

Emaitzak: a) Egia; b) Gezurra; c) Egia; d) Gezurra; e) Egia; f) Gezurra; g) Gezurra; h) Egia; i) Egia; j) Egia.

6.2- A eta B bi makina itzulgarriak T_0 temperaturan dagoen foku berean askatzen dute beroa. A makinak T_1 temperaturan dagoen fokutik xurgatzen du beroa, eta B-k T_2 temperaturan dagoen beste batetik, $T_2 < T_1$ betetzen delarik. Bi makinek bero-kantitate berdina hartzen badute, bete ondoko taula (A makinaren balioak B-rekin alderatuta). Ondo azaldu kasu bakoitza.

	Handiagoa	Berdina	Txikiagoa
Lana			
Askatutako beroa			
$\oint dS$			
$\oint \delta Q/T$			
$\oint TdS$			

6.3- Aire-masa batek ondoko hiru prozesuez osatutako ziklo termodinamikoa burutzen du:

1-2: bolumen konstanteko beroketa, $P_1 = 0,1 \text{ MPa}$; $T_1 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$; $V_1 = 0,02 \text{ m}^3$ egoeratik $P_2 = 0,42 \text{ MPa}$ egoeraraino.

2-3: presio konstanteko hozketa.

3-1: hasierako egoerarainoko beroketa isotermikoa.

Kalkula ezazu hiru prozesuetan izandako entropia-aldaketa. Irudikatu zikloa P - V eta T - S diagrametan. Airearen informazioa: $c_p = 1 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$.

Emaitzak: 0,02476 kJ/K; -0,03473 kJ/K; 0,00997 kJ/K.

6.- Entropia

6.4- Hasieran 1,5 bar; 20 °C eta 1 m³ egoeran dagoen aire-masa batek $P \cdot V^n = \text{cte.}$ ekuazioari darraion konprimaketa politropiko itzulgarria jasan du, 6 bar eta 120 °C amaierako egoera bateraino. Airerako har itzazu honako balioak: $c_v = 0,72 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ eta $R = 0,287 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$. Kalkula itzazu:

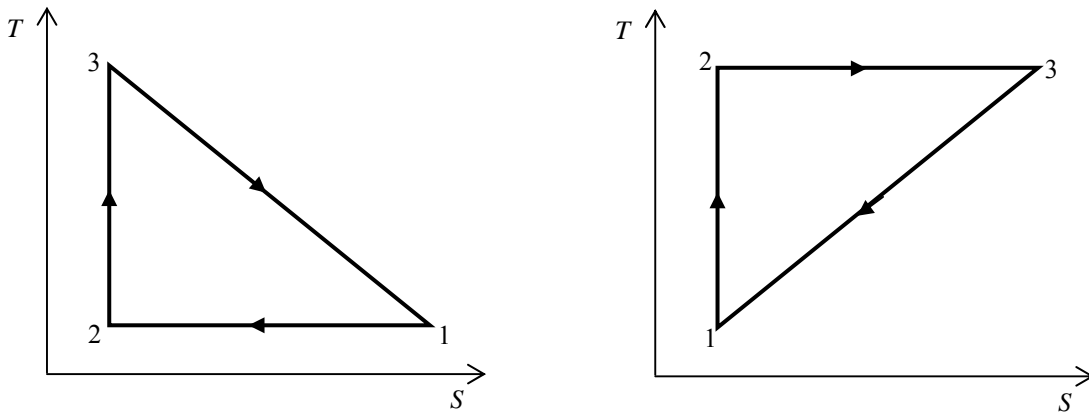
- n -ren balioa.
- aireak elkarraldatutako beroa eta lana, kJ-tan.
- airearen entropia-aldakuntza, kJ/K-etan.

Emaitzak: a) 1,2687; b) -62,04 kJ; -190,47 kJ; c) -0,1823 kJ/K.

6.5- Zilindro pistoidun batek 0,04 m³ ur dauka 1 MPa eta 320 °C-tan. Ura adiabatikoki hedatzen da 0,15 MPa-eko amaierako presioraino. Hedapen horretan urak egin dezakeen lan maximoa aurki ezazu.

Emaitza: 47,2 kJ.

6.6- Irudiko ziklo biak prozesu itzulgarriez osaturik daude. Deduzi ezazu bien etekin termikoetarako adierazpen bat, T_1 eta T_3 temperaturen funtzioan.



Emaitzak: $\eta = \frac{(T_{\max} - T_{\min})}{(T_{\max} + T_{\min})}$; $\eta = \frac{(T_{\max} - T_{\min})}{2T_{\max}}$.

6.7- Aire-masa batek ($c_p = 1 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, $R = 0,287 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$) ondoko prozesu itzulgarriez osatutako ziklo termodinamikoa burutzen du:

- 1-2: $P_1 = 1 \text{ bar}$ -etik $P_2 = 4,75 \text{ bar}$ -erainoko konprimaketa isotermikoa.
- 2-3: $T_3 = 390 \text{ K}$ -erainoko presio konstanteko hedapena.
- 3-1: hasierako egoerarainoko hedapen adiabatikoa.

a) Adieraz ezazu zikloa P - v eta T - s diagrametan.

b) Potentzia-zikloa bada, lor ezazu etekin termikoa. Hozte-zikloa bada, kalkula ezazu operazio-koefizientea.

Emaitza: $\eta = 0,207$.

6.8- Aire-fluxu bat difusore adiabatiko batera sartzen da honako egoeran: 0,6 bar, -3 °C eta 260 m/s. Bertatik 130 m/s-ko abiadura irtetzen da. Kalkulatu irteerako temperatura °C-tan eta lor daitekeen presio maximoa bar-etan. Airearen datuak: $c_p = 1 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; $R = 0,287 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$.

Emaitzak: 22 °C; 0,817 bar.

6.- Entropia

6.9- R12 hozgarriaren korrante bat, likido ase modura, 7 bar-etan sartzen da balbula batera eta 1 bar-eraino itoazten da, modu iraunkorrean. Kalkula ezazu masa-unitateko entropia-gehikuntza, kJ/kg·K-etan. Balbula turbina adiabatiko batez ordezkatzeko balitz, zein izango litzateke horrek gara zezakeen lan maximoa kJ/kg-tan?

Emaitzak: 0,0245 kJ/(kg·K); 5,97 kJ/kg.

6.10- R12 hozgarriaren fluxu bat kontrakorronteko trukagailu batera -20 °C-tan eta % 35-eko tituluaz sartzen da, bertatik -20 °C-ko lurrin ase modura irteten delarik. Beste korrantea 4 kg/s-ko aire-fluxua da ($c_p = 1$ kJ/(kg·K); $R = 0,287$ kJ/(kg·K)); hau 300 K-etik 285 K-era hozten da presioaren aldaketa nabaririk gabe. Kalkula ezazu trukagailuaren barruko entropia-gehikuntzaren abiadura.

Emaitza: 0,0318 kW/K.

6.11- Gas ideal batek egiten duen ziklo termodinamikoa ondoko hiru prozesuez eratzen da: (a-b) konprimaketa isentropikoa; (b-c) hedapen isotermikoa; (c-a) isobarikoa. Gas idealerako k berretzaile adiabatikoa eta R konstantea hartu behar dira. Marraztu eskematikoki P - V eta T - S diagramak, eta idatzi adierazpen egokiak ondoko magnitudeetarako:

a) $|Q_1|$ eta $|Q_2|$.

b) Lan netoa.

c) Etekin eta batezbesteko presio efektiboa.

Emaitzak: a) $|Q_1| = m \cdot R \cdot T_{\max} \cdot \ln\left(\frac{p_{\max}}{p_{\min}}\right)$; $|Q_2| = \left(\frac{mk}{k-1}\right) \cdot R \cdot T_{\max} \cdot \left(1 - \frac{T_{\min}}{T_{\max}}\right)$;

b) $W = \left(\frac{mR}{1-k}\right) \cdot \left[(1-k) \cdot T_{\max} \cdot \ln\left(\frac{p_{\max}}{p_{\min}}\right) + k \cdot (T_{\max} - T_{\min}) \right]$;

c) $\eta = 1 - \left[\frac{k \cdot (T_{\max} - T_{\min})}{(k-1) \cdot T_{\max} \cdot \ln\left(\frac{p_{\max}}{p_{\min}}\right)} \right]$; $p_m = \left(\frac{p_{\min} \cdot p_{\max}}{p_{\max} - p_{\min}}\right) \cdot \left[\ln\left(\frac{p_{\max}}{p_{\min}}\right) - \frac{k \cdot (T_{\max} - T_{\min})}{(k-1) \cdot T_{\max}} \right]$.

6.12- 38 °C-tan dagoen 900 g ur-masa daukan ontzi batera 0 °C-tan dagoen 450 g izotz gehitzen dira. Ontzia 15 °C-tan irauten duen gela handi isolatu batean dago. Sistema guztien artean bero-elkarraldatzea askea gertatzen da. Uraren fusio-bero sorra 80 cal/g da. Sistema osoa orekara heldutakoan, kalkula ezazu entropiaren aldakuntza osoa. Prozesua posiblea da? Zergatik?

Emaitza: 0,010226 kcal/K.

6.13- 0,03 m³-ko bolumena daukan gordailu zurrin batek O₂ dauka ($c_v = 0,67$ kJ/(kg·K)). Hasierako egoeran oxigenoa 87 °C-tan eta 1,5 bar-etan dago. Gurpil paletadun batez 13 N·m-ko indar-parea eragiten zaio 25 biratan zehar, 18 °C-etan dagoen ingurura 3,71 kJ-ko bero-galera gertatzen delarik. Aurki itzazu:

a) oxigenoaren entropia-aldaketa, kJ/K-etan.

b) Unibertsoaren entropia-aldaketa, kJ/K-etan.

c) Prozesua itzulgarria, itzulezina ala ezinezkoa da?

Emaitzak: a) -0,00503 kJ/K; b) 0,00772 kJ/K.

6.- Entropia

6.14- Bi tanke zurrun eta adiabatiko balbula batez konektatuta daude. Hasieran, bata 0,5 kg aire dauka 80 °C eta 1 atm-tan eta besteak 1 kg aire 50 °C eta 2 atm-tan. Balbula irekitakoan aire-masa biak nahasten dira, amaierako oreka-egoerara iristen delarik. Aireako erabili honako datuak: $c_p = 1 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$; $R = 0,287 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$. Kalkula itzazu:

- amaierako tenperatura, °C-tan.
- amaierako presioa, atm-tan.
- entropia-aldakuntza, kJ/K-etan.

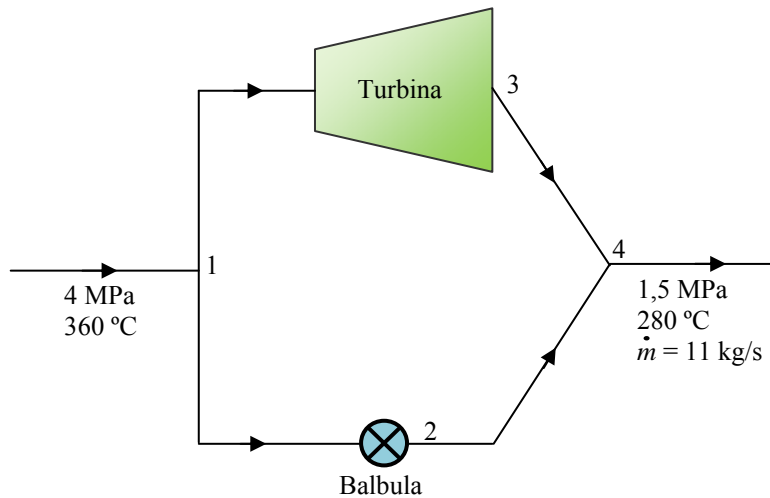
Emaitzak: a) 60 °C; b) 1,48 atm; c) 0,032127 kJ/K.

6.15- 3.600 kW-ko turbina batera 18 kg/s-ko aire-fluxua sartzen da 800 °C-tan eta 100 m/s-ko abiaduraz. Aire adiabatikoki hedatzen da turbinan zehar 150 m/s-ko abiaduraz irteten delarik. Horren ondoren, difusore baten barrura sartu eta isoentropikoki desazeleratzen da 10 m/s-ko abiaduraino. Difusorearen irteera eguratsera doa. Airearen datuak: $c_p = 1 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$; $R = 0,287 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$.

- Kalkula ezazu turbina eta difusorearen arteko airearen presioa.
- Irudika ezazu prozesua $T-s$ diagrama batean.

Emaitza: 0,957 atm.

6.16- Iratopen-balbula bat paraleloan dabilen % 90ko etekin isoentropikoa duen turbina batekin. Beheko irudian erakutsitako balioak erabiliz, kalkula itzazu turbina zeharkatzen duen uraren masa-fluxua eta turbinak garatzen duen potentzia.



Emaitzak: 6,39 kg/s; 1.370 kW.

6.17- Gas-turbina batean, airea 0,95 bar-etan eta 22 °C-tan sartzen da konprimagailura, 5,7 bar-etan irteten delarik. Ondoren, airea bero-trukagailu batetik pasatzen da, presio konstantez 1.100 K-eraino berotzen delarik. Azkenik, airea turbinan zehar hedatzen da presio atmosferikoraino (0,95 bar). Konprimagailua eta turbina adiabatikoak dira eta energia zinetikoen aldaketak mespreza daitezke. Airearen datuak honako hauek dira: $c_p = 1 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$; $R = 0,287 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$. Ondoko bi kasuetan, kalkula ezazu egitura osoak emandako lan netoa, kJ/kg-tan:

- konprimagailua eta turbina itzulgarriak dira;
- beraien etekin isoentropikoak % 82 eta % 85 dira, hurrenez hurren.

Emaitzak: a) 244 kJ/kg; b) 135 kJ/kg.

6.- Entropia

6.18- Itxita dagoen $0,1 \text{ m}^3$ -ko ontzi zurruna bi gelatan banatuta dago, aske labain daitekeen pistoi adiabatiko baten bidez. Ontziaren hormak alde guztietatik adiabatikoak dira eskuineko horma izan ezik, hori diatermiko delarik. Hasieran, bi gelek bolumen berdina betetzen dute. Ezkerrekoak ur-lurrun hezea dauka % 90 tituluduna 7 bar-eko presioan. Eskuinekoak ur-lurrun gainberotua dauka, $200 \text{ }^\circ\text{C}$ eta 7 bar-etan. Azken hau, horma eroalean zehar kuasiestatikoki hozten da, $3,5$ bar-eko presiora heldu arte. Pistoia ere kuasiestatikoki desplazatzen da. Bi getetako amaierako tituluak aurki itzazu.

Emaitzak: 0,865; 0,086.

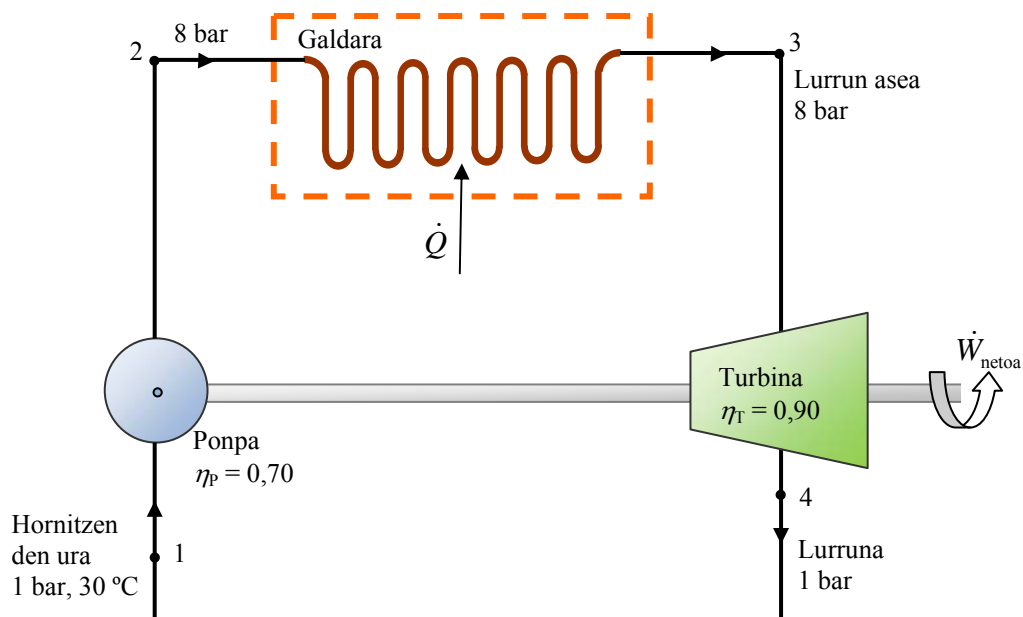
6.19- Gas kilogramo batek (R ezaguna), hasieran T_{ing} tenperaturan dagoen ingurunearekin orekan dagoena, bat batean konprimatzen da bere hasierako V_1 bolumenetik amaierako V_2 bolumeneraino. Jarraian, bolumen konstanteko prozesuan Q beroa askatzen du inguruarekin oreka berreskuratuko arte. Kalkulatu:

a) gasaren entropiaren aldakuntza.

b) Unibertsoaren entropiaren aldakuntza.

Emaitzak: a) $\Delta S_{\text{gas}} = mR \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$; b) $\Delta S_{\text{unibertsoa}} = mR \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) + \left(\frac{Q}{T_{\text{ing}}}\right)$.

6.20- Beheko irudian egoera iraunkorrean dabilen zentral termiko baten eskema dikusagu. Turbinak ekoizten duen potentziak ponpa eta beste zenbait gailu hornitzen dira. Ponpa eta turbina adiabatikoak dira, eta energia zinetikoaren aldaketak mespreza daitezke. Kalkulatu: a) ponpak kontsumitutako lana, b) ekoiztutako lan netoa eta c) galdaran xurgatutako beroa.



Emaitzak: a) -1 kJ/kg ; b) 317 kJ/kg ; c) $2.642,3 \text{ kJ/kg}$.

6.21- Prozesu batean zehar, aire kilogramo baten bolumena bikoizten da, eta bere presioa hirukoiztu. Kalkula ezazu $\text{kJ}/(\text{K}\cdot\text{kg})$ -tan airearen entropia-aldakuntza espezifikoa. Aire gas idealtzat hartu: $c_p = 0,240 \text{ cal}/(\text{gr}\cdot^\circ\text{C})$ eta $c_v = 0,171 \text{ cal}/(\text{gr}\cdot^\circ\text{C})$.

Emaitza: $1,481 \text{ kJ}/(\text{K}\cdot\text{kg})$.

6.22- $18 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan dagoen 3 kg -ko ur-masa $72 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan dagoen 9 kg -ko beste batekin nahasten da. Oreka ezarri eta gero, bi ur-kantitateak hasierako egoeretara eramaten dira, 3 kg ur $18 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan dagoen gordailu termiko batekin ukipenean jarriz, eta gainerako 9 kg -ak $72 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan dagoen beste batekin ukipenean jarriz. Kalkula itzazu:

6.- Entropia

- a) Lehenengo prozesuan, uraren eta unibertsoaren entropia-gehikuntza.
 b) Bigarren prozesuan, uraren eta unibertsoaren entropia-gehikuntza.
 c) Bi prozesuetan, uraren entropia-gehikuntza.

Emaitzak: a) 0,03166 kcal/K; 0,03166 kcal/K; b) -0,03166 kcal/K; 0,03369 kcal/K; c) 0.

6.23- Ontzi zurrun bat bi gelatan banatuta dago aske higi daitekeen pistoi adiabatiko batez. Ontziaren kanpoko pareta guztiak adiabatikoak dira, eskuineko pareta izan ezik, berau diatermiko delarik. Hasieran, bi gelek bolumen berdina hartzen dute, $0,5 \text{ m}^3$ bakoitzak, hain zuzen. Ezkerreko gelak 5 kg aire dauka 400 K-tan eta eskuinekoak 2 kg aire 350 K-tan. Inguruko airea (eskuineko gelarekin ukipen diatermikoan dagoena) 300 K-tan dago. Pistoi askatuko dugu sistema orekako egoerara joango delarik. Prozesuan zehar, eskuineko gelak 180 kJ askatzen ditu ingurura. Kalkulatu:

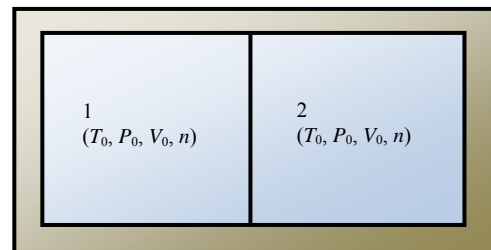
- a) amaierako presioa, bolumena eta tenperatura bi geletan.
 b) Prozesuan izandako unibertsoaren entropia-aldaketa.

Airearen datuak: $c_V = 0,72 \text{ kJ}/(\text{kg K})$; $R = 0,287 \text{ kJ}/(\text{kg K})$.

Emaitzak: a) $0,7551 \text{ m}^3$; $0,2449 \text{ m}^3$; 703,15 kPa; 370 K; 300 K; b) $\Delta S = 0,27923 \text{ kJ/K}$.

6.24- Beheko irudian termikoki isolatutako ontzia ikusten da, marruskadurarik gabeko enbolo adiabatiko higikor baten bidez bi gelatan banatuta dagoena. Alde bakoitzean gas ideal baten n mol daude. Hasierako presioa, bolumena eta tenperatura, P_0 , V_0 eta T_0 , berdinak dira enboloaren bi aldeetan. Berretzaile adiabatikoa 1,5 da, eta c_V ez dago tenperaturaren menpean. Enboloaren ezkerreko aldean sartzen den erresistentzia elektriko baten bidez beroa ematen zaio gasari oso astiro. Alde horretako gasa hedatu egiten da, eskuin-aldekoa $27P_0/8$ presioraino konprimatzen duelarik. Adieraz itzazu, n , c_V eta T_0 -ren funtzioan:

- a) Eskuineko gasaren kontra egindako lana.
 b) Eskuineko gasaren amaierako tenperatura.
 c) Ezkerreko gasaren amaierako tenperatura.
 d) Ezkerreko gasak zurgatu duen beroa.
 e) Entropiaren aldakuntza osoa.



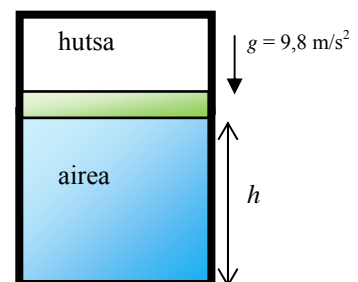
Emaitzak: a) $-nc_V T_0/2$; b) $3T_0/2$; c) $21T_0/4$; d) $19nc_V T_0/4$; e) $(3nc_V \ln(7/2))/2$.

6.25- Gas ideal bat adiabatikoki konprimatzen da, era itzulgarrian. Hasierako egoeran, gasaren presioa 2 atm da, eta bere bolumena 3 litro. Amaierako bolumena litro bat da. Kalkula ezazu kJ-tan konprimaketa-lana. Zein da gasaren entropia-aldakuntza? Datuak: $c_P = 1 \text{ kJ}/(\text{°C} \cdot \text{kg})$ eta $c_V = 0,7 \text{ kJ}/(\text{°C} \cdot \text{kg})$.

Emaitzak: -852 J; 0 J/K.

6.26- Irudiko pistoiaren pisua 1.000 N-ekoa da, eta azalera 50 cm^2 . Azpian 10 g aire dago. Aire berotuko dugu 0 °C -tik abiatuta, pistoi 10 cm igo arte. Prozesuan zehar inguruko tenperatura 500 °C -koa da. Airearen datuak honako hauek dira: $c_P = 1 \text{ kJ}/(\text{kg K})$; $c_V = 0,72 \text{ kJ}/(\text{kg K})$. Kalkula itzazu:

- a) amaierako h altuera.
 b) Amaierako tenperatura.



6.- Entropia

c) Emandako beroa.

d) Unibertsoaren entropia-aldaketa.

Emaitzak: a) 76,44 cm; b) 36 °C; c) 359,2 J; d) 0,7740 J/K.

6.27- 100 °C-tan dagoen ur-lurrin asearen kilogramo bat likido asearen egoeraraino kondentsatzen da presio konstanteko prozesu batean. Beroa 25 °C-tan dagoen ingurura askatzen da. Kalkula ezazu unibertsoaren entropia-aldaketa.

T (°C)	P (kPa)	v_f (m ³ /kg)	v_g (m ³ /kg)	h_f (kJ/kg)	h_g (kJ/kg)	s_f (kJ/kg K)	s_g (kJ/kg K)
100	101,325	0,001044	1,6729	419,02	2676	1,3068	7,3548

Emaitza: 1,5221 kJ/K.

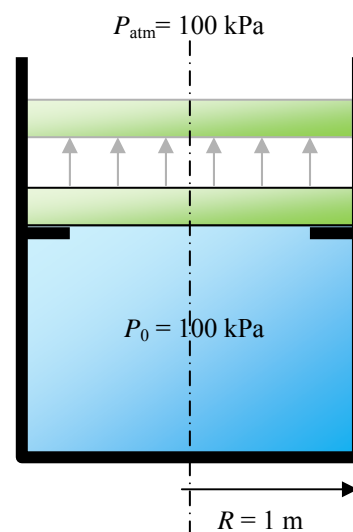
6.28- (2003/09) 5 kg-ko likido-lurrin ur-nahasketa ase zilindro-entolo sistema baten barruan dago. Uraren 2 kg fase likidoan daude, eta gainontzekoa lurruna da. Hasierako presioa 100 kPa-ekoa da. Ura berotzen hasiko gara. Barruko presioa 200 kPa denean, entoloa mugitzen hasten da. Beroaren transferentziak bolumenta % 20 handitu arte jarraitzen du.

a) Irudikatu prozesuaren P - V eta T - S diagramak.

b) Zilindroa mugitzen hasten deneko eta bukaerako uraren tenperaturak.

c) Lortu prozesuan zehar sistemari transferitutako beroa.

d) Bero hori 500 °C-ko bero-iturri batetik datorrela suposatzen badugu, kalkulatu prozesuan zeharreko unibertsoaren entropia-aldaketa.



Emaitzak:

6.29- Ontzi batean 4 °C-tan dagoen ur litro batera, 0 °C-tan dagoen 50 g-ko izotz-puska bat jaurtitzen da. Gelako airea 20 °C-tan dago. Sistema osoa oreka termikora heltzen denean, kalkula ezazu unibertsoaren entropia-aldakuntza. Suposatu prozesuan zehar ontziak ez duela energiarik xurgatzen. Izotz-gramo bat urtzeko behar den beroa (uraren fusio-bero sorra): 80 cal/g.

Emaitzak: 2,67 cal/K.

6.30- N₂-z beteriko bi ontzi adiabatiko, A eta B, balbula batez lotuta daude. A ontzian 1 kmol dago, eta B ontzian, berriz, 2 kmol. Bi ontzien hasierako presioak eta tenperaturak hauek dira: $P_{A1} = 5$ bar; $T_{A1} = 500$ K; $P_{B1} = 10$ bar; $T_{B1} = 1.500$ K. Balbula zabaldu ondoren, kalkula itzazu:

a) amaierako presioa eta tenperatura.

b) Sistemaren entropia-aldakuntza.

Nitrogenoaren datuak: $c_p = 1,04$ kJ/(kg °C); pisu molekularra: 28 kg/kmol.

Emaitzak: a) 8,75 bar; 1.167 K; b) 7,6047 kJ/K.

6.31- Karbono-monoxidoz beteriko bi gordailu ($c_v = 0,745$ kJ/(kg K); $m = 28,01$ kg/kmol), balbula baten bidez elkarturik daude. Batean karbono-monoxidoaren 2 kg daude 77 °C-tan eta 0,7 bar-etan, eta bestean, 8 kg, 27 °C-tan eta 1,2 bar-etan. Balbula zabaldukoan bi masak nahasten dira. Amaierako orekako tenperatura 42 °C-koa da.

a) Zein da amaierako presioa?

6.- Entropia

b) Zein bero-kantitate xurgatu da?

c) Ingurunearen tenperatura 42 °C-tan konstante mantentzen bada, zein da unibertsoaren entropia-aldaketa osoa?

Emaitzak: a) 105 kPa; b) 37,25 kJ; c) 0,1452 kJ/kg.

6.32- Zilindro pistoidun baten barruan 0,06 m³-ko bolumenean dagoen etano isoentropikoki hedatzen da. Hasierako egoeran presioa 6,9 bar da eta tenperatura 260 °C. Amaieran etanoaren presioa 1,05 bar da, eta tenperatura 107 °C. Kalkulatu etanoaren k , R , c_p eta c_v balioak, eta hedapenean zehar egindako lana. Etano gas ideala dela suposatuz. Etanoaren masa molekularra: 30 kg/kmol.

Etano masa bera 1,05 bar-etan eta 107 °C-tan, 6,9 bar-eraino konprimitzen da, $PV^{1,4} = \text{cte}$ legearen arabera. Kalkulatu etanoaren amaierako tenperatura, konprimaketan zehar trukaturako beroa, eta entropia aldaketa.

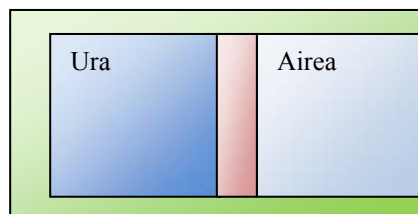
Emaitzak: $R = 0,2771$ kJ/(kg K); $c_p = 1,542$ kJ/(kg K); $c_v = 1,265$ kJ/(kg K); $k = 1,219$; $W = 54,24$ kJ; $T = 650,7$ K; $Q = 43,41$ kJ; $\Delta S = 0,0862$ kJ/K.

6.33- Oxigenoa 250 kPa-etan eta 60 °C-tan daukagu. Adibatikoki hedatzen da 125 kPa-eko presioraino. Zein da lor daitekeen tenperatura minimoa? Zein da lor daitekeen tenperatura maximoa? Arrazoitu erantzunak. Oxigenoaren berretzaile adibatikoa: $k = 1,39$.

Emaitzak: 1,15 °C; 60 °C.

6.34- 0,1 m³-ko ontzi zurrun eta itxi bat bi gelatan banaturik dago, aske labain daitekeen pistoi adibatiko baten bidez. Ontziaren horma guztiak adibatikoak dira, eskuineko horma izan ezik. Hasieran bi gelek bolumen bera hartzen dute. Ezkerrekoan ur-lurrun hezea daukagu 7 bar-etan eta % 90eko tituluarekin. Eskuinekoan airea dugu 7 bar eta 200 °C-tan; azken honek beroa askatuko du horma diatermikoan zehar, oreka mekanikoa 5 bar-etan lortu arte eta inguruarekin oreka termikoa 20 °C-tan. Kalkula itzazu:

- Airearen amaierako bolumena.
- Ur-lurrunaren amaierako titulua.
- Urak egindako lana eta askatutako beroa.
- Aireak egindako lana eta askatutako beroa.
- Unibertsoaren entropia-aldaketa prozesuan.



Airearen datuak: $R = 0,287$ kJ/(kg K); $c_v = 0,713$ kJ/(kg K).

Emaitzak: a) $4,336 \cdot 10^{-2}$ m³; b) 0,7418; c) $Q_u = 0$; $W_u = 65,06$ kJ; d) $Q_a = 98,58$ kJ; $W_a = -65,06$ kJ; e) -0,14159 kJ/kg.

6.35- Hurrengo prozesuetan adierazi ea ondoko magnitude termodinamikoak (q , w , Δu , Δh eta Δs) positiboak, negatiboak ala zero diren. Erantzunak ondo azalduta egon behar dira.

- Gas ideal bat atmosfera bateko kanpoko presioaren kontra hedatzen da adibatikoki eta modu itzulgarrian.
- Gas ideal bat atmosfera bateko kanpoko presioaren kontra hedatzen da isotermikoki.
- Gas ideal bat hutsean hedatzen da adibatikoki.
- Likido bat irakite-tenperaturan lurrun bilakatzen da prozesu itzulgarri batean, tenperatura eta presioa konstante mantendurik.

6.- Entropia

Emaitzak: a) $q = 0$; $w > 0$; $\Delta u < 0$; $\Delta h < 0$; $\Delta s = 0$.

b) $q > 0$; $w > 0$; $\Delta u = 0$; $\Delta h = 0$; $\Delta s > 0$.

c) $q = 0$; $w = 0$; $\Delta u = 0$; $\Delta h = 0$; $\Delta s > 0$.

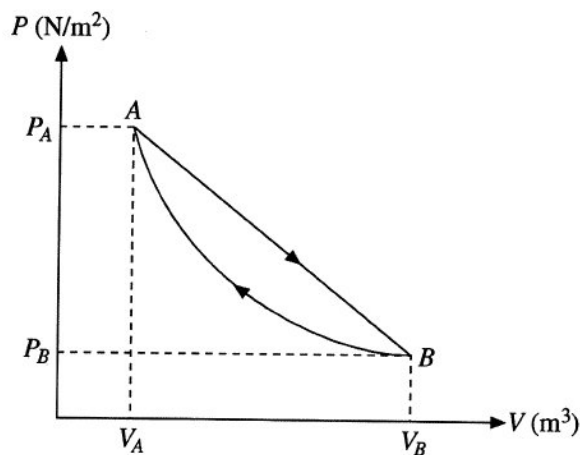
d) $q > 0$; $w > 0$; $\Delta u > 0$; $\Delta h > 0$; $\Delta s > 0$.

6.36- Gas ideal monoatomikoaren mol batek alboko irudiko ziklo itzulgarria burutzen du. Zikloaren bilakaerak honako ekuazioen bidez azaldu daitezke:

$$P = 124 - 24V \quad \text{eta} \quad PV = 20,$$

non P eta V , Nm^{-2} eta m^3 -tan adierazten diren, hurrenez hurren. Kalkulatu:

- zikloak burututako lana.
- Barne-energiaren aldaketa.
- Entropiaren aldaketa A eta B puntuen artean.
- Zikloaren etekina.



Emaitzak: a) 232 J; b) 0; c) $S_A - S_B = -6,8 \text{ cal/K} = -28,47 \text{ J/K}$; d) 0,77.

6.37- 38 litroko bolumeneko gordailua adiabatikoki isolatuta dago. Bertan, ur-lurrunaren 200 g daude 255 °C-tan. Bertan 0 °C-tan dagoen 12 g izotz sartzen badugu, kalkulatu:

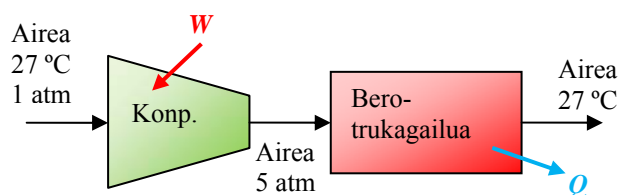
- nahasketaren amaierako tenperatura.
- Nahasketaren amaierako presioa.
- Unibertsoaren entropia-aldaketa.
- Zer esan dezakegu prozesuari buruz?

Datuak: Izotzaren fusio-bero sorra: $L_f = 80 \text{ cal/g}$; uraren lurruntze-bero sorra: $L_l = 540 \text{ cal/g}$; ur-lurrunaren bolumen konstanteko bero espezifikoa: $c_v = 0,32 \text{ cal/(g } ^\circ\text{C)}$; uraren masa molekularra: $M = 18 \text{ g/mol}$.

Emaitzak: a) 119 °C; b) 10 atm; c) 5,78 cal/K; d) Prozesua itzulezina da.

6.38- Konprimagailu adiabatiko batean airea konprimitzen da 5 atm-ko presioa lortu arte. Airearen hasierako egoeraren ezaugarriak honako hauek dira: 27 °C eta 1 atm. Konprimagailuaren etekina % 50 da. Ondoren, konprimaketan berotutako airea bero-trukagailu batean hozten da 27 °C-raino. Orduan, konprimagailuak kontsumitutako lanak honakoa betetzen du...

- $W = Q$.
- $|W| = 2|Q|$.
- $Q = 2W$.
- $Q = -W$.
- Informazioa falta da.



6.- Entropia

f) Aurrekoak ez dira egia.

Emaitzak:

6.39- $P_1 = 60$ bar eta $T_1 = 480$ °C-tan dagoen ur-lurrina turbina adiabatiko batean sartzen da, eta hedapena jasotzen du $P_2 = 0,06$ bar-eraino. Turbinaren etekin isoentropikoa $\eta = 0,81$ da. Zehaztu:

- a) ur-lurrinaren emaria, fluxuak uzten duen potentzia 60 MW-koa izateko.
- b) Turbina uzten duenean ur-lurrinak daukan x_2 titulua.

Emaitzak: 58,09 kg/s; b) 0,9063.

6.40- Aire kilogramo bat 600 °C-tan isotermikoki konprimitzen da 4 m³-tik 2 m³-ra. Konpresioan 1 kJ-eko lana burutu da. Kalkulatu airearen entropia-aldaketa. Prozesua itzulgarria da? Azaldu era egokian erantzuna.

Emaitzak: -0,1989 kJ/kg; ez da itzulgarria.

6.41- O₂-k ($m_{\text{kmol}} = 32$ kg/kmol) 20 bar eta 0,072 m³/kg egoeran hedapen isoentropikoa jasotzen du eta 4 bar-eko presioa lortzen da. Gero, bar bateko presiora arte tenperatura konstanteko hedapena jasaten du. Azkenik, zikloa prozesu politropiko baten bidez ixten da. Gas biatomikoetan honako erlazioak betetzen dira:

$$c_p = \frac{7}{2}R, c_v = \frac{5}{2}R. \text{ Aurkitu:}$$

- a) P - V eta T - S diagramak.
- b) Presioa, bolumena eta tenperatura zikloaren erpinetan.
- c) Xurgatutako beroa (Q_1) eta emandako beroa (Q_2).
- d) Zikloan zeharreko lan osoa (W).
- e) Bero-ponparen operazio-koefizientea.

Emaitzak: b)

	$P(\text{bar})$	$T(\text{K})$	$v(\text{m}^3/\text{kg})$
1	20	554,3	0,072
2	4	349,9	0,2273
3	1	349,9	0,9092

c) -160, 02 kJ/kg; 126,04 kJ/kg; d) 33,9814 kJ; e) 4,7091.

6.42- Kalkulatu uraren entropia espezifikokoaren gehikuntza, presio atmosferiko konstantean -18 °C-tan dagoen izotz-egoetatik 150 °C-tan dagoen lurrin gainberotuaren egoerara berotzean.

Datuak: $c_p(\text{izotza}) = 0,5$ cal/(g °C); $c_p(\text{ura}) = 1,0$ cal/(g °C); $c_p(\text{ur-lurrina}) = 0,47$ cal/(g °C); izotzaren fusio-bero sorra = 80 cal/g; uraren lurruntze-bero sorra = 540 cal/g.

Emaitza: 2,1461 cal/(g °C).

6.43- % 89ko etekin isoentropikoa duen konprimagailu batek 20 °C-tan dagoen airea konprimitzen du adiabatikoki, presio atmosferikotik 7,23 atm-eraino. Kalkula ezazu kontsumitzen duen masa-unitateko lana. Airearen datuak: $c_p = 1$ kJ/(kg K); $c_v = 0,72$ kJ/(kg K).

Emaitza: -243,8 kJ/kg.

7.- Lurrunaren bidezko potentzia-zikloak

ONARRIZKO EKUAZIOAK

1) Carnot-en zikloa:

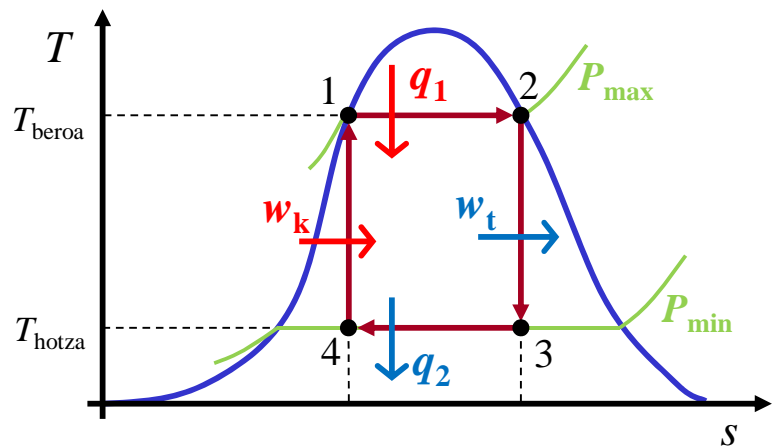
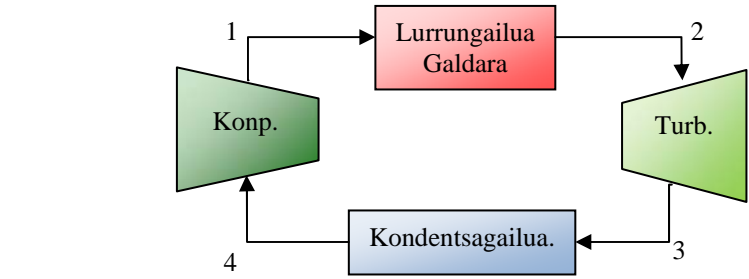
$$q_1 = (h_2 - h_1) > 0.$$

$$q_2 = (h_4 - h_3) < 0.$$

$$w_t = (h_2 - h_3) > 0.$$

$$w_k = (h_4 - h_1) < 0.$$

$$\eta = \frac{(w_t + w_k)}{q_1} = 1 - \left(\frac{T_{\text{hotza}}}{T_{\text{beroa}}} \right).$$



2) Rankine zikloa:

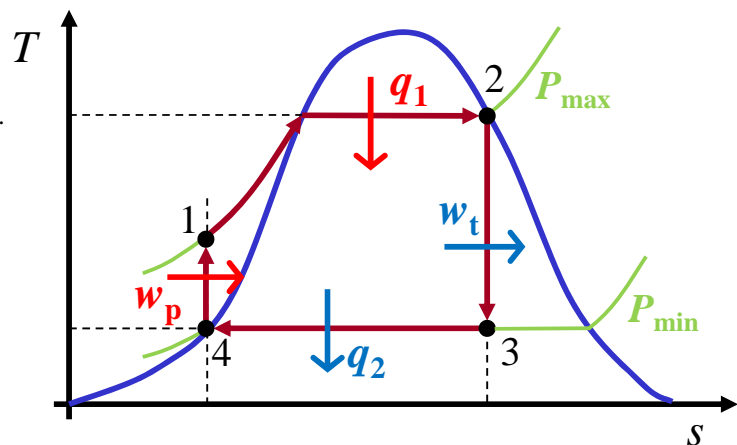
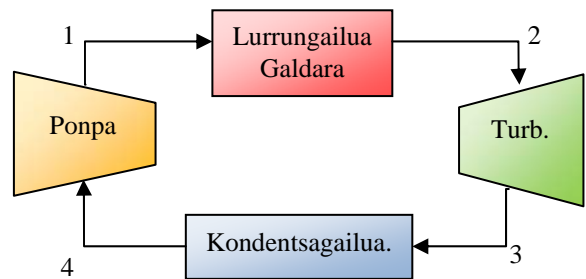
$$q_1 = (h_2 - h_1) > 0.$$

$$q_2 = (h_4 - h_3) < 0.$$

$$w_t = (h_2 - h_3) > 0.$$

$$w_p = (h_4 - h_1) = -v \cdot (P_1 - P_4) < 0.$$

$$\eta = \frac{(w_t + w_p)}{q_1} = \frac{(h_2 - h_3) - v \cdot (P_1 - P_4)}{(h_2 - h_1)}.$$



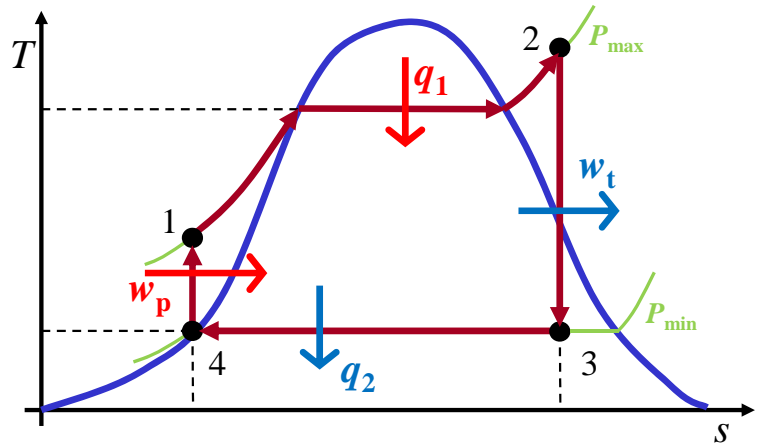
7.- Lurrunaren bidezko potentzia-zikloak

3) Gainberoketadun Rankine zikloa:

$$\eta = \frac{(w_t + w_p)}{q_1} = \frac{(h_2 - h_3) - v \cdot (P_1 - P_4)}{(h_2 - h_1)}$$

Normalean ponparen lana arbuiazen da:

$$\eta \approx \frac{w_t}{q_1} = \frac{(h_2 - h_3)}{(h_2 - h_4)}$$

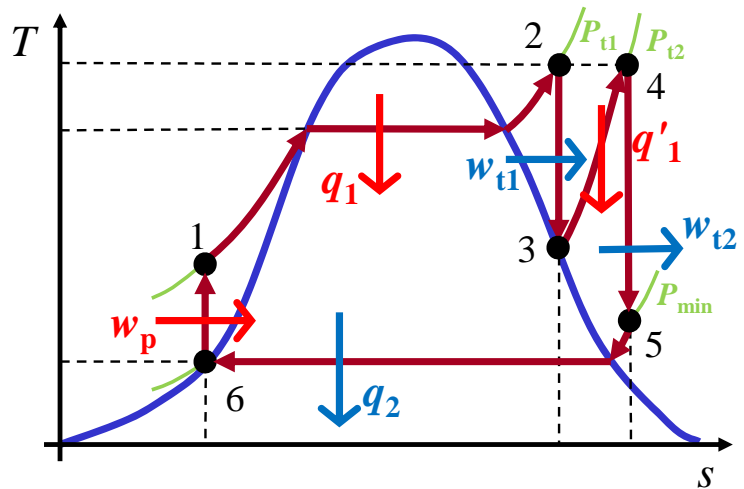


4) Hedapen bikoitzeko Rankine zikloa:

$$\eta = \left(\frac{w_{t1} + w_{t2} + w_p}{q_1 + q'_1} \right) = \frac{(h_2 - h_3) + (h_4 - h_5) - v \cdot (P_1 - P_6)}{(h_2 - h_1) + (h_4 - h_3)}$$

Normalean ponparen lana arbuiazen da:

$$\eta \approx \left(\frac{w_{t1} + w_{t2}}{q_1 + q'_1} \right) = \frac{(h_2 - h_3) + (h_4 - h_5)}{(h_2 - h_1) + (h_4 - h_3)}$$



5) Carnot-en ziklo alderantzikatua:

$$q_1 = (h_3 - h_2) < 0$$

$$q_2 = (h_1 - h_4) > 0$$

$$w_k = (h_1 - h_2) < 0$$

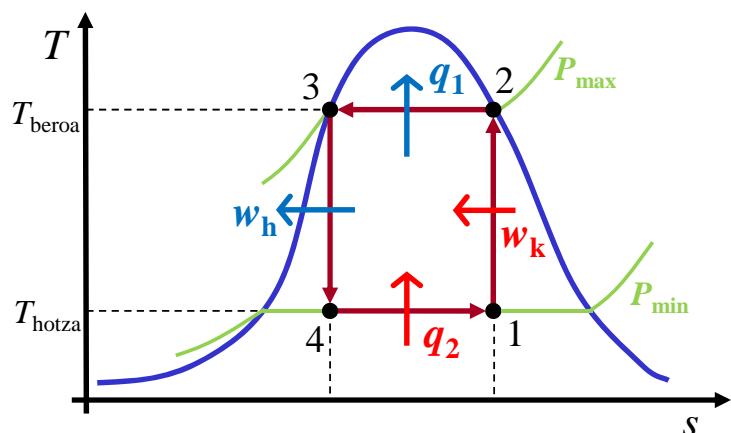
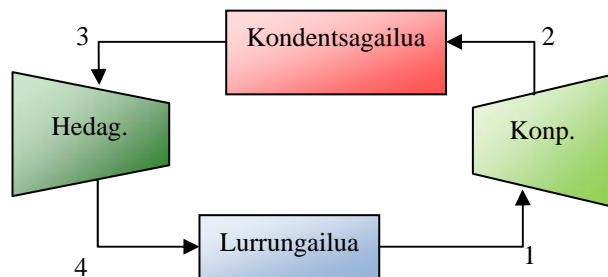
$$w_h = (h_3 - h_4) > 0$$

- Hozkailuaren operazio-koefizientea:

$$\beta = \frac{q_2}{(w_k + w_h)} = \frac{T_{hotza}}{(T_{beroa} - T_{hotza})}$$

- Bero-ponparen operazio-koefizientea:

$$\gamma = \frac{q_1}{(w_k + w_h)} = \frac{T_{beroa}}{(T_{beroa} - T_{hotza})}$$



7.- Lurrunaren bidezko potentzia-zikloak

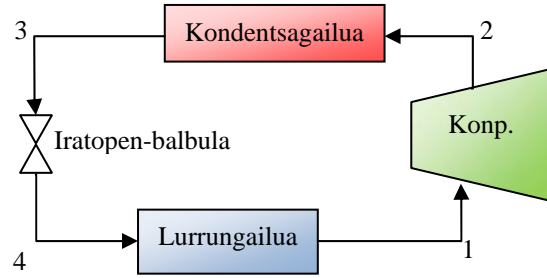
6) Rankine-ren hozte-zikloa:

$$q_1 = (h_3 - h_2) < 0.$$

$$q_2 = (h_1 - h_4) > 0.$$

$$w_k = (h_1 - h_2) < 0.$$

Iratopen-balbulan: $h_4 \approx h_3$.

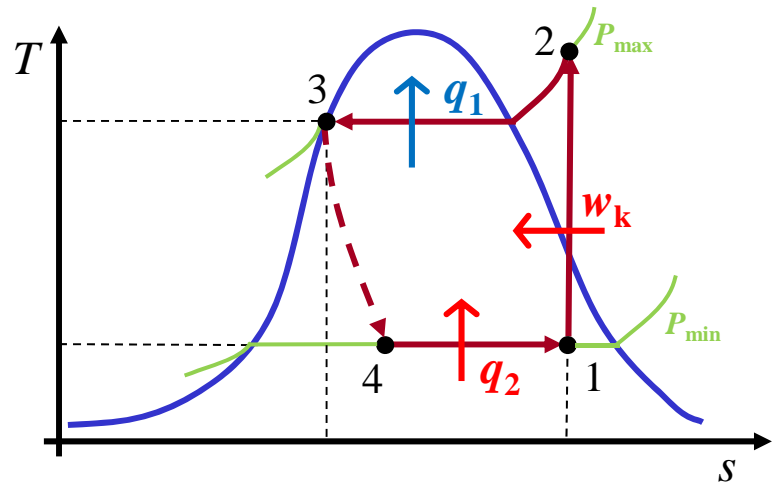


- Hozkailuaren operazio-koefizientea:

$$\beta = \left(\frac{q_2}{w_k} \right) = \left(\frac{h_1 - h_3}{h_2 - h_1} \right).$$

- Bero-ponparen operazio-koefizientea:

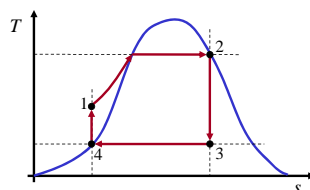
$$\gamma = \left(\frac{q_1}{w_k} \right) = \left(\frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} \right).$$



7.- Lurrunaren bidezko potentzia-zikloak

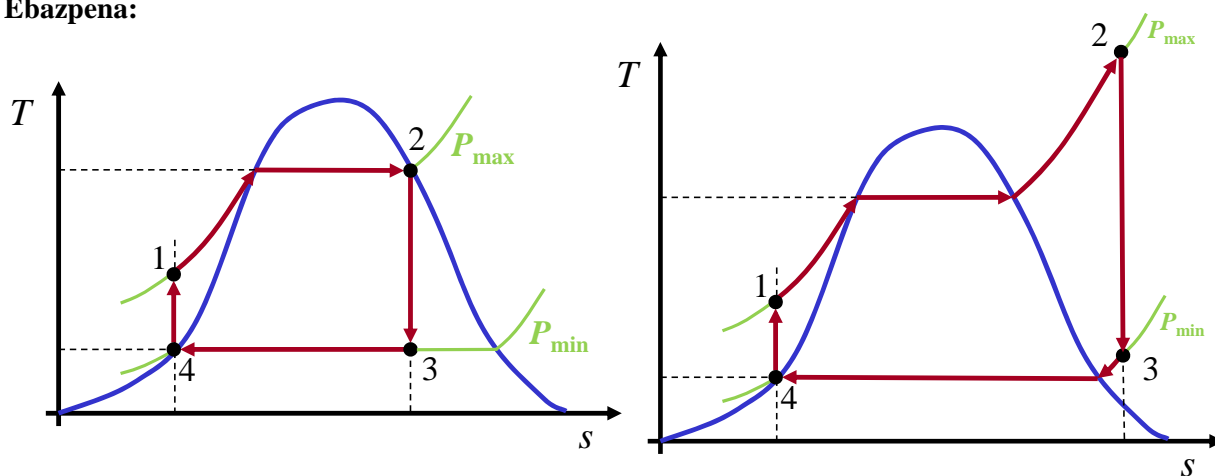
EBATZITAKO ARIKETAK

7.A- Erabateko kondentsazioa duen Rankine ziklo batean, ur-lurruna aseturik ateratzen da galdaratik (ikus alboko irudia). Instalazioan gainberoketa sortzen duen sistema bat gehitzea pentsatu da, presio-galerarik sortzen ez duela suposatuta. Adierazi gainberogailuak ondoko magnitudeen gainean izango duen eragina zein den, erantzunak T - S diagrama baten bidez azalduz.

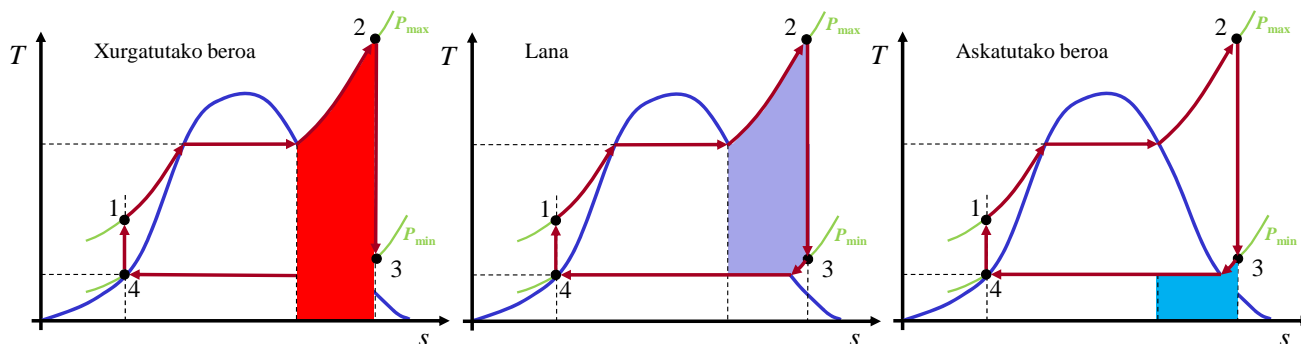


	Handitu	Txikitu	Aldaketarik ez
Xurgatutako beroa			
Ekoiztutako lan netoa			
Ponpan kontsumitutako lana			
Kondentsagailuan askatutako beroa			
Titulua turbinaren irteeran			

Ebazpena:



Gainberoketa eraginez, honako magnitudeak handituko dira: xurgatutako beroa, ekoiztutako lan netoa eta askatutako beroa. Ponparen lana ez da aldatuko. Turbinaren irteeran, lurrun hezea bada, titulua handituko da, bestela, lurrun ase edo gainberotua izango da.



7.- Lurrunaren bidezko potentzia-zikloak

7.B- Lurrunaren konpresio bidezko termoponpa batek R134a hozgarria darabil lan-jariakin gisa. Hozgarria 2,4 bar eta 0 °C-tan sartzen da konprimagailuan, 0,6 m³/min-ko bolumen-emariarekin. 9 bar eta 60 °C-rainoko konpresioa adiabatikoa da, eta kondentsagailutik irtetean 9 bar-eko likido ase da. Kalkula ezazu kW-etan:

- konprimagailuak behar duen potentzia.
- Askatzen den beroa.
- Konprimagailuaren etekin isoentropikoa.
- Irudikatu zikloa T - S diagraman.

Ebazpena: 1. egoeran hozgarria lurrun gainberotua da:

$$h_1 = 248,89 \text{ kJ/kg}; s_1 = 0,9399 \text{ kJ/(kg K)}; v_1 = 0,08574 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

$$2. \text{ egoera (lurrun gainberotua): } h_2 = 293,21 \text{ kJ/kg}.$$

$$3. \text{ egoera (likido ase): } h_3 = 99,56 \text{ kJ/kg}.$$

$$\text{Hozgarriaren masa-emaria: } \dot{m} = \frac{\dot{V}}{v_1} = 0,11663 \text{ kg/s} = 6,9979 \text{ kg/min}.$$

$$\dot{H}_1 = \dot{m} \cdot h_1 = 1.741,71 \text{ kJ/min}.$$

$$\dot{H}_2 = \dot{m} \cdot h_2 = 2.051,85 \text{ kJ/min}.$$

$$\dot{H}_3 = \dot{m} \cdot h_3 = 696,71 \text{ kJ/min}.$$

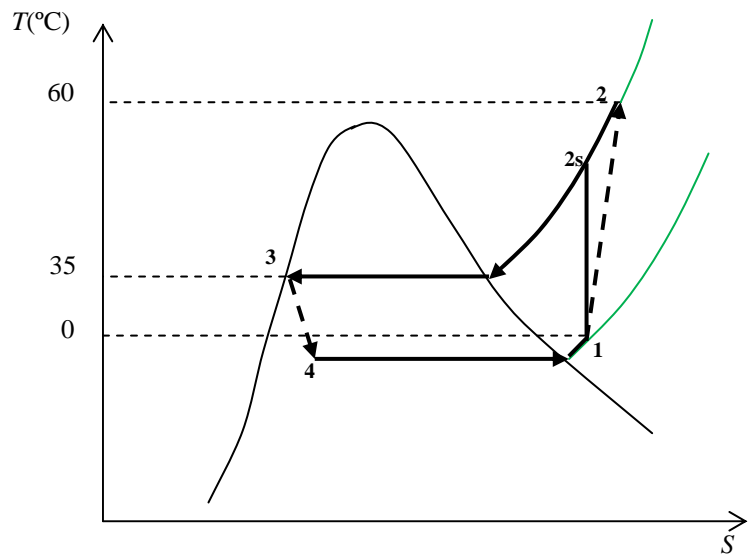
$$a) \dot{W}_{\text{komp}} = \dot{H}_1 - \dot{H}_2 = -5,17 \text{ kW}.$$

$$b) \dot{Q}_{\text{askatua}} = \dot{H}_3 - \dot{H}_4 = -22,59 \text{ kW}.$$

$$c) h_{2s} = 277,03 \text{ kJ/kg}.$$

$$(\dot{W}_{\text{komp}})_s = \dot{m} \cdot (h_1 - h_{2s}) = -3,28 \text{ kW}.$$

$$\eta = \frac{(\dot{W}_{\text{komp}})_s}{\dot{W}_{\text{komp}}} = 0,6350.$$



7.C- Ur-lurruneko zentral batek gainberoketadun Rankine ziklo ideala erabiltzen du. Galdarako presioa 30 bar da, eta kondentsagailukoa 8 kPa-ekoa. Ponpak kontsumitutako lana arbuia daiteke. Aurkitu:

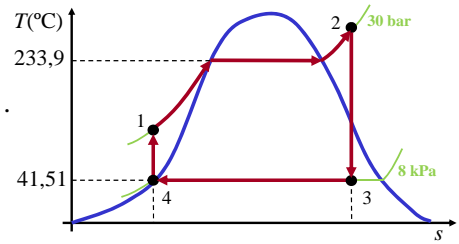
- ur-lurruna gainberotu behar deneko gutxieneko tenperatura irteerako titulua gutxienez 0,9 izan dadin.
- Ekoiztutako lan espezifikoa netoa.
- Zikloaren etekina.
- Demagun orain turbinaren etekin isoentropikoa bat baino txikiagoa dela, sarrerako baldintzak mantendurik. Turbinaren irteerako titulua handiagoa ala txikiagoa izango da? Nola aldatuko dira b) eta c) ataletako emaitzak?

7.- Lurrenaren bidezko potentzia-zikloak

Ebazpena: a) Turbinaren irteerako entropia sarrerakoaren berdina da:

$$s_3 = 0,1 \cdot 0,5925 + 0,9 \cdot 8,2267 = 7,46328 \text{ kJ}/(\text{kg K}) = s_2.$$

$$T_2 = 550 + \left(\frac{600 - 550}{7,5084 - 7,3750} \right) \cdot (7,46328 - 7,3750) = 583,1 \text{ }^\circ\text{C}.$$



b) Turbinaren sarrerako eta irteerako entalpiak:

$$h_2 = 3.569,1 + \left(\frac{3.682,3 - 3.569,1}{7,5084 - 7,3750} \right) \cdot (7,46328 - 7,3750) = 3.644,0 \text{ kJ/kg}.$$

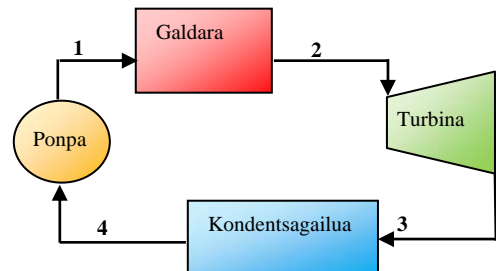
$$h_3 = 0,1 \cdot 173,85 + 0,9 \cdot 2.576,1 = 2.335,9 \text{ kJ/kg}.$$

$$w_{23} = -\Delta h = h_2 - h_3 = 3.644,0 - 2.335,9 = 1.308,1 \text{ kJ/kg}.$$

$$c) \eta = \frac{w_{23}}{(h_2 - h_1)}; h_1 \approx h_4 = 173,85 \text{ kJ/kg} \rightarrow \eta = \frac{1.308,1}{(3.644,0 - 173,85)} = 0,3770.$$

d) 2. puntutik 3. puntura entropia handituko da, eta beraz, titulua ere handituko da. Turbinak ekoiztutako lan espezifikoa eta etekina txikituko dira.

7.D- Irudian zentral elektriko baten funtzionamendu-eskema erakusten da. Rankine zikloa burutzen du, galdaratik ur-lurrin ase 30 bar-etan ateratzen delarik. Kondentsazioa 1 bar-etan gertatzen da.



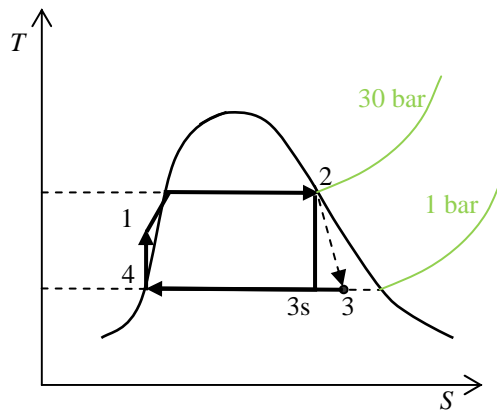
a) Irudikatu zikloaren T - S diagrama, bertan eskemari dagozkion puntuak adieraziz.

b) Lortu kJ/kg -tan ponparen lana.

c) Kalkulatu zikloaren etekina idealtzat hartuta.

d) Turbinaren etekin isoentropikoa 0,8-koa da. Ur-emaria 200 kg/s -koa bada, zein da zentralak ekoizten duen lan-potentzia?

Ebazpena: a)



(1 bar)

Likido ase: $h_f = 417,46 \text{ kJ/kg}$; $s_f = 1,3026 \text{ kJ}/(\text{kg K})$; $v_f = 1,0432 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$;

7.- Lurrunaren bidezko potentzia-zikloak

Lurrun ase: $h_g = 2.675,5 \text{ kJ/kg}$; $s_g = 7,3596 \text{ kJ/(kg K)}$.

(30 bar)

Likido ase: $h_f = 1.008,4 \text{ kJ/kg}$; $s_f = 2,6457 \text{ kJ/(kg K)}$;

Lurrun ase: $h_g = 2.804,2 \text{ kJ/kg}$; $s_g = 6,1869 \text{ kJ/(kg K)}$.

$$h_1 = h_f(1 \text{ bar}) + v_f(1 \text{ bar}) \cdot (P_1 - P_4) = 420,36 \text{ kJ/kg}.$$

$$h_2 = h_f(30 \text{ bar}) = 2.804,2 \text{ kJ/kg}.$$

2-3 prozesua isoentropikoa da, eta horri esker x_3 lortu daiteke:

$$s_3 = s_2 = 6,1869 = (1 - x_3) \cdot 1,3026 + x_3 \cdot 7,3594 \rightarrow x_3 = 0,8064.$$

$$h_3 = (1 - x_3) \cdot h_f(1 \text{ bar}) + x_3 \cdot h_g(1 \text{ bar}) = 2.238,39 \text{ kJ/kg}.$$

$$h_4 = h_f(1 \text{ bar}) = 417,46 \text{ kJ/kg}.$$

Turbina itzulgarriaren lana: $w_{\text{turb itzulg}} = h_2 - h_3 = 565,81 \text{ kJ/kg}$.

b) Ponparen lana: $w_{\text{ponpa}} = -v_f(1 \text{ bar}) \cdot (P_1 - P_2) = -2,9 \text{ kJ/kg}$.

c) Ziklo itzulgarriaren etekina: $\eta = \frac{\sum w}{\sum q_H} = \left(\frac{w_{\text{turb itzulg}} + w_{\text{ponpa}}}{h_2 - h_1} \right) = 0,2361$.

d) $\eta_{\text{turb}} = \left(\frac{w_{\text{ez-itzulg}}}{w_{\text{itzulg}}} \right)_{\text{turb}}$; $w_{\text{turb}} = \eta_{\text{turb}} \cdot w_{\text{turb itzulg}} = 452,6 \text{ kJ/kg}$.

$$\dot{W} = \dot{m} \cdot (w_{\text{turb}} + w_{\text{ponpa}}) = 89.949,6 \text{ kW} \approx 90 \text{ MW}.$$

7.E- Hozte-makina batek R134a erabiltzen du. Hozgarria 600 kPa-tan sartzen da konpresorera $x = 0,94$ tituluarekin, eta 1.000 kPa-etan eta 40 °C-tan ateratzen da. Emaria 1,9 kg/s-koa da. Konpresioan zehar bero-transferentzia sarrera-lanaren % 10 da.

a) Kalkulatu konpresoreak kontsumitzen duen potentzia.

b) Irudika ezazu prozesua T - S diagrama batean eta baita elementuaren eskema bat non sarrera, irteera eta bero-trukeak agertu behar diren.

Ebazpena:

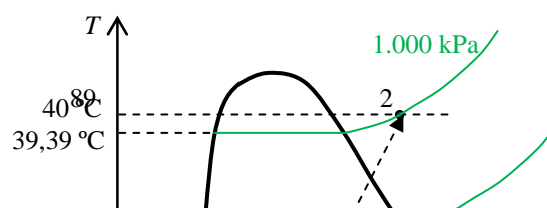
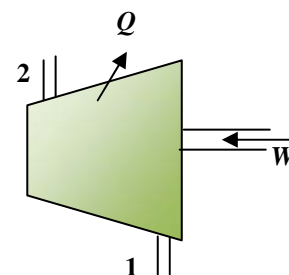
$$a) h_1 = (1 - x_1) \cdot h_f(6 \text{ bar}) + x_1 \cdot h_g(6 \text{ bar}) = 248,407 \text{ kJ/kg}.$$

Lurrun gainberotuaren taulatik zuzenean:

$$h_2 = 268,68 \text{ kJ/kg}.$$

Sistema irekietako lehenengo printzipioaren arabera:

$$h_1 + q = w + h_2.$$



7.- Lurrunaren bidezko potentzia-zikloak

$$248,40 - 0,1w = w + 268,68.$$

$$w = -18,43 \text{ kJ/kg}.$$

$$\dot{W} = \dot{m} \cdot w = -35,017 \text{ kJ/s}.$$

7.F- Kaleko temperatura 0 °C denean, etxebizitza batean 12 kW-eko beroa sartu behar da 25 °C-ko temperatura mantentzeko. Horretarako, R-22 hozgarriaz diharduen bero-ponpa erabiltzen da. Suposatu kondentsagailura lurrun asean sartzen dela eta likido asean irteten dela. Taulako “Burbuja” eta “Rocío” izenburuek hozgarriaren aletasun egoerak, likidoa eta lurruna, adierazten dituzte. Kalkula bitez:

- Bero-ponpak burutuko duen zikloaren presio maximoa eta minimoa, eta irudikatu T - S diagrama.
- Hozgarriaren masa-fluxua.
- Konpresorea eragiteko potentzia.
- Kanpotik xurgatutako beroa.
- Bero-ponparen operazio-koefizientea (eraginkortasun termikoa). Zein izango litzateke bero-ponpa itzulgarri baten operazio-koefizientea temperatura berdinen artean lan egingo balu?
- Nola aldatuko lirateke c), d) eta e) galderen emaitzak konpresorearen etekin isoentropikoa % 80 bada?

R22 hozgarriaren ezaugarriak

TEMP. (°C)	PRESION ABSOLUTA (bar)		DENSIDAD (dm ³ /kg)		ENTALPIA (kJ/Kg)		ENTROPIA (kJ/Kg.K)	
	BURBUJA	ROCIO	BURBUJA	ROCIO	BURBUJA	ROCIO	BURBUJA	ROCIO
-40	1.054	1.054	0.709	206.469	155.53	389.31	0.8254	1.8281
-35	1.321	1.321	0.716	167.364	160.95	391.78	0.8483	1.8175
-30	1.638	1.638	0.724	136.947	166.39	394.21	0.8708	1.8078
-25	2.012	2.012	0.732	113.026	171.87	396.61	0.8930	1.7987
-20	2.448	2.448	0.740	94.020	177.38	398.97	0.9148	1.7902
-15	2.953	2.953	0.749	78.775	182.94	401.28	0.9364	1.7822
-10	3.535	3.535	0.758	66.437	188.56	403.53	0.9578	1.7747
-5	4.201	4.201	0.767	56.376	194.24	405.71	0.9790	1.7676
0	4.958	4.958	0.777	48.085	200.00	407.82	1.0000	1.7608
5	5.815	5.815	0.788	41.223	205.84	409.84	1.0209	1.7543
10	6.779	6.779	0.799	35.498	211.78	411.77	1.0418	1.7481
15	7.859	7.859	0.811	30.691	217.82	413.60	1.0626	1.7420
20	9.063	9.063	0.824	26.628	223.99	415.31	1.0834	1.7361
25	10.401	10.401	0.838	23.176	230.29	416.89	1.1043	1.7302
30	11.882	11.882	0.852	20.225	236.74	418.32	1.1253	1.7243
35	13.514	13.514	0.868	17.690	243.37	419.58	1.1464	1.7183
40	15.309	15.309	0.885	15.500	250.19	420.65	1.1678	1.7122
45	17.275	17.275	0.903	13.598	257.23	421.50	1.1895	1.7058
50	19.424	19.424	0.923	11.939	264.53	422.11	1.2116	1.6992

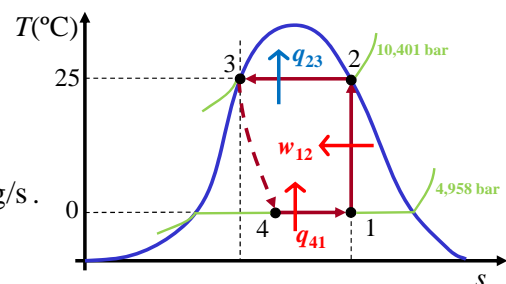
Ebazpena: a) $P_{\max} = P_s(25^\circ\text{C}) = 10,401 \text{ bar}$;

$$P_{\min} = P_s(0^\circ\text{C}) = 4,958 \text{ bar}.$$

$$b) \dot{m} = \frac{\dot{Q}_{23}}{q_{23}} = \frac{\dot{Q}_{23}}{(h_3 - h_2)} = \frac{-12}{(230,29 - 416,89)} = 0,06431 \text{ kg/s}.$$

c) Konpresore isoentropikoa

$$s_1 = s_2 = 1,7302 \text{ kg/(kJ K)} \rightarrow x_1 = 0,9598 \rightarrow h_1 = 399,46 \text{ kJ/kg}.$$



7.- Lurrunaren bidezko potentzia-zikloak

$$\dot{W}_{12} = \dot{m} \cdot (h_1 - h_2) = -1,1209 \text{ kW}.$$

$$d) \dot{Q}_{41} = \dot{m} \cdot (h_1 - h_4) = \dot{m} \cdot (h_1 - h_3) = 10,8793 \text{ kJ}.$$

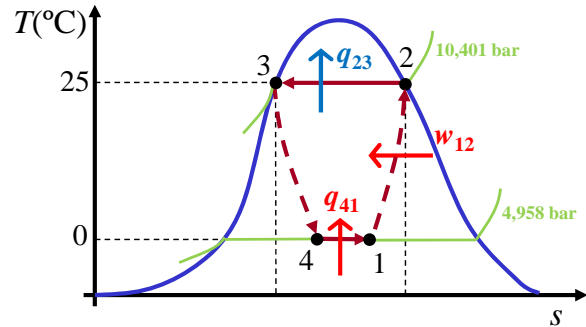
$$e) \gamma = \frac{|\dot{Q}_{23}|}{|\dot{W}_{12}|} = 10,71; \quad \gamma_{\text{itzulg}} = \frac{T_{\text{max}}}{T_{\text{max}} - T_{\text{min}}} = \frac{298}{298 - 273} = 11,92.$$

f) Konpresorearen etekin isoentropikoa: $\eta_s = \% 80$.

$$\dot{W}_{12} = \frac{(\dot{W}_{12})_s}{\eta_s} = -1,4011 \text{ kW}.$$

$$|\dot{Q}_{41}| = |\dot{Q}_{23}| - |\dot{W}_{12}| = 10,5989 \text{ kW}.$$

$$\gamma = \frac{|\dot{Q}_{23}|}{|\dot{W}_{12}|} = 8,56.$$



7.G- Zentral termiko batean, lurrungailutik ura 8 bar eta 500 °C-tan ateratzen da. Turbinan 6 bar eta 400 °C-tan sartzen da. Turbinaren etekin isoentropikoa %88a da, eta bere irteerako presioa 10 kPa. Fluidoa 6 kPa-eko likido ase modura sartzen da ponpan, eta 9 bar-etan ateratzen da. Marraztu T - s eta P - v diagramak.

a) Zein da titulua turbinaren irteeran?

b) Zein da ponpari eman beharreko lana masa unitateko?

Ebazpena: a) ($P_2 = 6 \text{ bar}$, $T_2 = 400 \text{ °C}$) $h_2 = 3.270,3 \text{ kJ/kg}$; $s_2 = 7,7079 \text{ kJ/(kg K)}$.

$$\Delta s = 0, \quad s_2 = (s_3)_s.$$

$$(x_3)_s = 0,9410 \rightarrow (h_3)_s = 2.443,60 \text{ kJ/kg}.$$

$$\eta_T = \frac{h_3 - h_2}{(h_3)_s - h_2} \rightarrow h_3 = 2.542,81 \text{ kJ/kg}.$$

$$x_3 = 0,9825.$$

$$b) w = v_4 \cdot (P_5 - P_4) = 898,02 \text{ J/kg}.$$

7.- Lurrunaren bidezko potentzia-zikloak

ARIKETAK EMAITZEKIN

7.1- Ur-lurrin-sistema batek Carnot-en zikloa burutzen du. Galdarako presioa 1 MPa-koa da, eta kondentsagailukoa 20 kPa. Kalkula itzazu etekin termikoa eta emandako lan espezifikoa.

Emaitzak: 0,265; 533 kJ/kg.

7.2- Lurrin-sistema batek Rankine zikloa burutzen du. Galdarako presioa 1 MPa-koa da, eta kondentsagailukoa 20 kPa. Kalkula itzazu etekin termikoa eta emandako lan espezifikoa, galdaratik irteten den lurrina lurrin asea dela jota.

Emaitzak: 0,241; 608 kJ/kg.

7.3- Energiaren sorrerarako lurrin-sistema batetan, galdaratik lurrina 1 MPa eta 300 °C-tan irteten da. Kondentsagailuko presioa 20 kPa-koa da. Ponpak egindako lana mesprezaturik, etekin termikoa eta lan espezifikoa kalkula itzazu.

Emaitzak: 0,251; 703 kJ/kg.

7.4- Eguzkitiko energiarekin lurrin-ziklo bat elikatzen da. Galdarako temperatura 65 °C-koa da, eta kondentsagailukoa 25 °C. Zikloaren etekin termikoa Carnot-enaren erdia da, eta motorrak ematen duen potentzia 100 kW-koa da. Kalkula ezazu galdarak xurgatzen duen bero-fluxua.

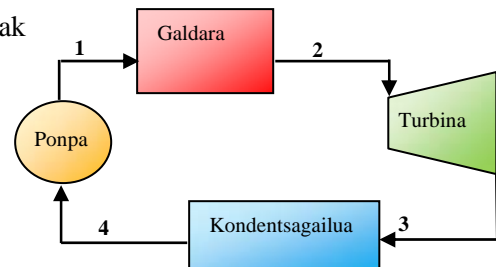
Emaitza: 1.690 kW.

7.5- Alboko irudian zentral termiko baten funtzionamendua irudikatu da eskematikoki. Rankine ziklo ideal baten arabera dabil. Galdaratik 30 bar-eko ur-lurrin asea ateratzen da, eta kondentsazioa 1 bar-etan gertatzen da.

a) Irudikatu zikloa T - S diagraman, eskemari dagozkion puntuak bertan adieraziz.

b) Kalkulatu ponparen lan espezifikoa, kJ/kg-tan.

c) Kalkulatu zikloaren etekina.



Emaitzak: b) -3,03 kJ/kg; c) 0,236.

7.6- Lurrin-sistema batek Rankine zikloa burutzen du, galdarako 800 kPa eta kondentsagailuko 40 kPa-eko presioen artean. Kalkula ezazu etekin termikoa, galdaratik irteten den lurrina lurrin asea dela jota. Arbuia ezazu ponparen lana.

Emaitza: 0,197.

7.7- Gainberoketadun Rankine ziklo ideal batean, turbinaren sarrerako baldintzak honako hauek dira: 30 bar eta 500 °C. Kondentsagailuko presioa 1 bar da. Kalkula itzazu etekina eta turbinaren irteerako titulua.

Emaitzak: 0,272; % 97,9.

7.8- Ikatzaren erreketaren bidez dabilen zentral termiko batek Rankine zikloa burutzen du. Lurrina 2 MPa eta 300 °C-tan sartzen da turbinara, 20 kPa-etan irteteko. Irteerako potentzia 200 MW-koa dela jakinik, kalkulatu ikatzaren kontsumoa t/h-tan. Ikatzak 30.000 kJ/kg-ko eduki energetikoa dauka. Mespreza ezazu ponparen lana.

Emaitza: 84,8 t/h.

7.- Lurrunaren bidezko potentzia-zikloak

7.9- R12 hozgarriko Rankine potentzia-ziklo batek eguzkitiko energia erabiltzen du. Hozgarria 9 bar-eko likido ase modura sartzen da ponpara, eta 16 bar-eraino konprimitzen da. Turbinaren sarrerako tenperatura 120 °C da, eta masa-emaria 1.000 kg/h. Kalkula itzazu:

- zikloaren lan netoa.
- Zikloaren etekina.
- Beharrezkoa den eguzki-kolektorearen azalera, berorrek 650 J/(m²·s) ematen badu.

Emaitzak: 12,67 kJ/kg; 0,0686; 78,9 m².

7.10- Hozkailu bat Carnot-en ziklo alderantzikatuaren bidez dabil, lurrungailuan -10 °C eta kondentsagailuan 30 °C-ko tenperaturekin. Zikloaren bidez 250 W-eko *hotza* ekoiztu nahi da. Kalkulatu eman beharreko potentzia.

Emaitza: 38 W.

7.11- Hozkailu batek lurrun-konpresio bidezko zikloa erabiltzen du R134a hozgarriarekin. Lurrungailuko tenperatura -5 °C eta kondentsagailukoa 35 °C badira, kalkula ezazu hozkailuaren operazio-koefizientea. Irudikatu *T-S* diagrama.

Emaitza: 5,42.

7.12- Hozkailu batek lurrun-konpresio bidezko zikloa erabiltzen du R12 hozgarriarekin. Hozkailuaren barruan -10 °C-ko tenperatura minimoa mantendu nahi da, hozkailuaren inguruko tenperatura 25 °C-koa izanik. Beroa transferitzen deneko prozesuetan 10 °C-ko tenperatura-diferentzia dagoela emanik, kalkula ezazu operazio-koefizientea.

Emaitza: 3,55.

7.13- Lurrun-konpresio bidezko zikloaren bidez dabilen hozkailu batek R134a hozgarria erabiltzen du. Hozkailuaren barruan 0 °C-ko tenperatura mantendu nahi da, inguruko tenperatura 20 °C-koa izanik. Beroa transferitzen deneko prozesuetan 10 °C-ko tenperatura-diferentzia dagoela emanik, kalkula ezazu zikloaren operazio-koefizientea. Lurrungailuak 200 W-ko bero-fluxua xurgatzen du. Zein da hozgarriaren masa-fluxua? *T-S* diagrama irudikatu.

Emaitzak: 5,35; 1,38·10⁻³ kg/s.

7.14- Eguzkitiko energia erabiltzen duen zentral batek Rankine zikloa egiten du, R12 hozgarria laneko fluidoa izanik. Turbinara lurrun ase sartzen da 60 °C-tan, eta kondentsagailuak 6 bar-eko presioan lan egiten du. Kolektoreetan xurgatutako erradiazioa 0,4 kW/m²-koa da. Kalkula ezazu m²-tan kolektorearen azalera minimoa sistemak ekoiztutako kW bakoitzeko.

Emaitza: 24,76 m²/kW.

7.15- Hozkailu batean R12 hozgarria 2,8 bar-eko lurrun ase modura sartzen da konprimagailura, eta 8 bar-eraino konprimitzen da. Konprimagailuaren irteeran entalpia espezifikoa 213,45 kJ/kg da. Kondentsazioa likido asearen egoeraraino gertatzen da. Aurkitu:

- konprimagailuak egindako lana.
- Hozgarriaren emaria 4,5 kg/min bada, ekoiztutako *hotza* orduko.
- Eraginkortasun termikoa eta kondentsagailuan askatutako beroa hozgarriaren kilogramoko.

Emaitzak: a) -27,18 kJ/kg; b) 7.672 kcal/h; c) 4,377; 34,91 kcal/kg.

7.- Lurrenaren bidezko potentzia-zikloak

7.16- Ur-lurrina turbinara 100 bar-eko presioan sartzen da eta bero-transferentziarik gabe hedatzen da 0,08 bar-eraino. Turbinaren etekin isoentropikoa % 85ekoa da. Kalkula ezazu °C-tan turbinaren sarrerako tenperatura minimoa, irteeran gutxienez % 90eko titulua egon dadin.

Emaitza: ≈ 560 °C.

7.17- Lurren-sorgailutik ur-lurren gainberotua irteten da 8 MPa eta 480 °C-tan. Sorgailua eta turbina lotzen dituen hodian gertatzen diren bero-transferentziak eta frikzioen ondorioz turbinaren sarrerako P eta T , 7,6 MPa eta 440 °C-tara jaisten dira hurrenez hurren. Turbinaren irteerako presioa 0,1 bar da, eta kondentsagailutik likidoa 8 kPa eta 36 °C-tan irteten da. Presioa 8,6 MPa-eraino igotzen da ponparen bidez. Turbinak eta ponpak % 88ko errendimendu isoentropikoa dute. Irteerako potentzia netoa 100 MW izanik, kalkula itzazu:

- lurrenaren masa-fluxua, kg/h-tan.
- Zikloaren etekin termikoa.
- Sorgailutik turbinara doan hodian elkarraldatutako beroa, MW-tan.

Emaitzak: a) $3,47 \cdot 10^5$ kg/h; b) % 32,4; c) $-9,275$ MW.

7.18- Gainberoketa eta birberoketadun ziklo batek ur-lurrina erabiltzen du. Lurren gainberotua 8 MPa eta 480 °C-tan sartzen da turbinara eta presioa 0,7 MPa izan arte hedatzen da. Orduan 480 °C-taraino birberotzen da berriro turbinara sartu aurretik, honetan zehar kondentsagailuko 8 kPa-eko presioraino hedatzen delarik. Sarrerako lurrenaren masa-fluxua $2,63 \cdot 10^5$ kg/h-koa da. Presio altuko eta presio baxuko turbinek % 88ko etekin isoentropikoa dute. Ponparen etekina % 80koa da. Kalkula itzazu:

- garatutako potentzia netoa, kW-etan.
- Etekin termikoa.
- Lurrenetik hozketa-uretaranzko bero-transferentzia, kW-etan.

Emaitzak: a) 101.613 kW; b) % 36,6; c) $175,9 \cdot 10^3$ kW.

7.19- Bero-ponpa baten ziklo ideal batek R12 (freoia) erabiltzen du. Bero-ponpak 15 kW ematen ditu gela bat 20 °C-tan mantentzeko, kanpoko tenperatura 5 °C-koa izanik. Lurrengailutik 2,4 bar-eko lurren ase ateratzen da, eta kondentsagailuaren irteeran 8 bar-eko likido ase dago. Kalkula itzazu:

- konprimagailuan behar den potentzia, kW-tan.
- Zikloaren operazio-koefizientea.
- 20 °C eta 5 °C-ko fokuen artean operatzen duen bero-ponpa itzulgarri baten operazio-koefizientea.

Emaitzak: a) 2,30 kW; b) 6,51; c) 19,53.

7.20- Lurren-konpresio bidezko bero-ponpa batek 500 kJ/min-ko berokuntza-potentzia du. Bero-ponpa eragiten duen potentzia-zikloak % 25eko etekin termikoa dauka. Bero-ponpan Freoia -10 °C-ko lurren asetik 10 bar-eko kondentsagailuko presioraino konprimitzen da. Konprimagailuaren etekin isoentropikoa % 80 da. Iratopen-balbulara 9,6 bar eta 36 °C-ko likidoa sartzen da. Potentzia-zikloak askatutako beroaren % 80 berotu nahi dugun gelara transferitzen da.

- Aurki ezazu bero-ponpako konprimagailuan behar den potentzia, kW-etan.
- Eman ezazu gelara transferitutako bero netoa eta potentzia-zikloak xurgatutakoaren arteko erlazioa.

Emaitzak: a) 1,915 kW; b) 1,69.

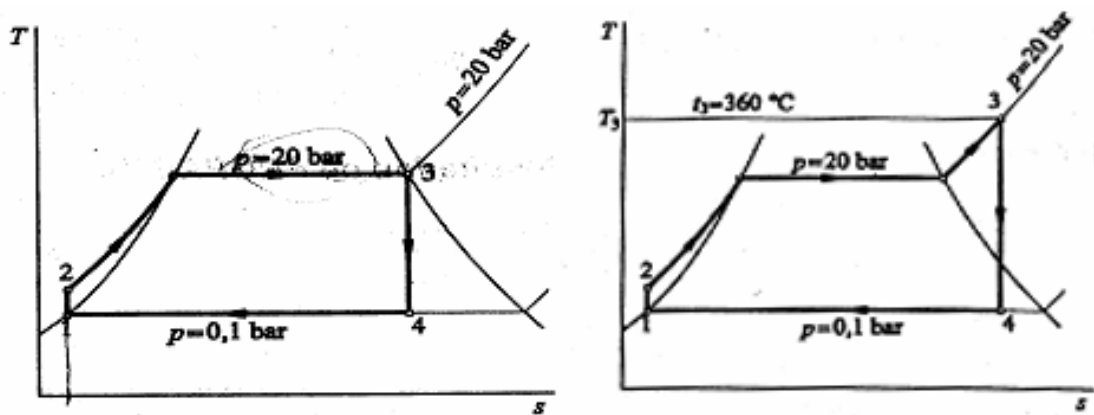
7.- Lurrunaren bidezko potentzia-zikloak

7.21- Rankine ziklo ideal batek ura erabiltzen du lan-fluido modura. Turbinara 8,0 MPa-eko lurrin ase sartzen da, eta kondentsagailutik 0,008 MPa-eko likido ase ateratzen da. Zikloaren potentzia osoa 100 MW-ekoa da. Kalkula itzazu:

- zikloaren etekin termikoa.
- Lurrunaren masa-fluxua kg/h-tan.
- Galdaran xurgatutako beroa, MW-etan.
- Hozketarako ur-masa kondentsagailuan, kg/h-tan, ura kondentsagailura 15 °C-tan sartu eta 35 °C-tan ateratzen dela jakinik.

Emaitzak:

7.22- Kalkula itzazu irudiko bi Rankine zikloen etekinak, ponparen lana kontuan hartuta.



Emaitzak: a) 0,3032; b) 0,3177.

7.23- Lurrunezko zentral termiko batean, ur-lurrina 7 bar eta 440 °C-tan ateratzen da lurrin-sorgailutik, eta 5 bar eta 400 °C-tan sartzen da turbinara, honen etekin isentropikoa % 88koa izanik. Turbinaren irteerako presioa 6 kPa da. Ura 6 kPa eta 20 °C-tan sartzen da ponpara, honen etekin isentropikoa % 60koa delarik, eta ponparen irteerako presioa 9 bar da. Ponparen irteeran uraren temperatura 21 °C da.

- Zein da uraren titulua turbinaren irteeran?
- Kalkula ezazu zikloaren etekin termikoa, ponpa eta sorgailua lotzen dituen hodian galerarik ez dagoela jota.
- Aurki ezazu ponpak egindako masa-unitateko lana.

Emaitzak: a) 0,9745; b) 0,2331; c) -5,079 kJ/kg.

7.24- Rankine ziklo batean, ura 23 kg/s-ko emariarekin sartzen da turbinara honako baldintzetan: 40 bar eta 450 °C. Bertatik kondentsagailuko presioan irteten da. Turbinaren etekin isentropikoa % 83 da. Kondentsagailuko presioa 0,1 bar da, eta galdarakoa (lurrungailua), 50 bar. Ura galdarara 1.020,0 kJ/kg-ko entalpia espezifikorekin sartzen da, eta 500 °C-tan ateratzen da presio-aldaketarik jasan gabe. Ponparen lana mesprezaturik, kalkula itzazu:

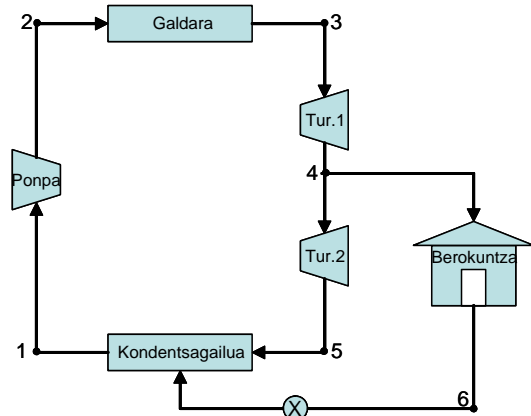
- zikloaren etekin termikoa.
- Galdaratik turbinarako bidean askatutako beroa, kW-tan.

Emaitzak: a) % 38,96; b) -2.385,1 kW.

7.- Lurrunaren bidezko potentzia-zikloak

7.25- Urbanizazio bati argindarra eta berokuntza emateko, ura erabiliz funtzionatzen duen kogenerazioko zentral bat erabiltzen da. Ur-lurruna 2 MPa-etan eta 320 °C-tako egoeratik hedatzen da bi etapako turbina batean, fluxu masikoa 0,82 kg/s delarik. Bi etapen artean lurrunaren % 14,1 ateratzen da 0,15 MPa-etan berokuntza sisteman erabiltzeko, eta gainontzekoa bigarren etapen kondentsagailuaren presioraino hedatzen da, 0,06 bar-eraino alegia. Berokuntza sistematik bueltatzen den kondentsatua 0,1 MPa-etan eta 60 °C-tan dago, eta balbula baten bidez kondentsagailuan sartzen da, non oinarritzko fluxuarekin elkartzen den. Kondentsagailutik likido ase irteten da 0,06 baretan. Turbinaren etapa bakoitzak % 80eko etekin isoentropikoa du eta ponparen kontsumoa mesprezagarria da. Aurkitu:

- sistemaren T - S diagrama.
- Gan ur-fluxuari emandako beroa (kW).
- Zikloak garatutako potentzia netoa (kW).
- Berokuntzarako ziklotik ateratako bero-fluxua (kW).
- Sistemaren eraginkortasun termikoa.



Emaitzak: b) 2.393 kW; c) 602 kW; d) 278 kW; e) % 25,2; f) % 36,8.

7.26- Hozkailu batek R-134a hozgarria erabiltzen du. Lurrungailuko presioa 1,4 bar da, eta kondentsagailuko 12 bar. % 80ko etekin isoentropikoa duen konprimagailu adiabatikora 1,4 bar-etan dagoen lurrun ase sartzen da, eta kondentsagailuko presioraino konprimitzen da. Kondentsagailutik likido ase modura ateratzen da, ondoren lurrungailuko presioraino iratortzen delarik.

- Zein da iratopen-balbularen irteerako titulua?
- Zein tenperaturatan ateratzen da hozgarria konprimagailutik?
- Kalkula ezazu zikloaren operazio-koefizientea.
- Hozgarriaren masa-emaria 20 g/s da. Hozkailuaren batezbesteko erabilera egunean 9 ordukoa dela jota, kalkula ezazu hozkailua martxan mantentzeko urteko kostea. Suposatu kilowatt-ordua 0,08 eurotan ordaintzen dela.

Emaitzak: a) 0,4280; b) 63,85 °C; c) 2,1542; d) 293,47 euro.

7.27- Ur-lurruna erabiltzen duen birberoketadun zikloa aztertuko dugu. Ura 10 kPa-ko likido ase modura sartzen da galdaran, eta hortik 4 MPa eta 400 °C-tan ateratzen da lurrun modura. Egoera horretan sartzen da turbinan. 400 kPa-erainoko hedapenaren ostean, lurruna birberotzen da 400 °C-raino. Orduan, presio baxuko turbinan hedatzen da 10 kPa-eraino. Zehaztu zikloaren etekina bi turbinak itzulgarriak direla suposatuz.

Emaitza: % 35,93.

7.28- Eraikuntza berri baten beroketa-sistamarako bero-ponpa bat diseinatu da. Bero-ponpa lurrun-konprimaketa ziklo baten bidez dabil, eta R134a hozgarria erabiltzen du. Beroa gertu dagoen ibai baten uretatik xurgatzen da. Ibaiaren ura 7 °C-tan dago. Eraikuntzari beroketa-aria 0,5 m³/s-ko erritmoarekin eman behar zaio, honako baldintzetan: 32 °C eta 1,012 bar. Aire 10 °C-ko kanpoko tenperaturatik isobarikoki berotzen da, bero-ponparen kondentsagailuko espiretan zehar pasatzean. Hozgarria lurrungailutik lurrun ase modura ateratzen da, eta kondentsagailutik likido ase modura. Lurrungailuan 17 K-eko tenperatura-diferentzia behar da ibaitik hozgarriaren bero-transferentzia gerta dadin. Konpresorearen irteerako presioa 12 barekoa da, eta bere etekin isoentropikoa % 85 da. Airearen datuak: $c_p = 1 \text{ kJ}/(\text{kg K})$; $R = 0,287 \text{ kJ}/(\text{kg K})$. Kalkulatu:

- Hozgarriaren masa-fluxua.

7.- Lurrunaren bidezko potentzia-zikloak

b) Konpresoreak kontsumitutako potentzia.

c) Bero-ponparen operazio-koefizientea.

d) Konprimagailua 240 ziklo/min-ko abiadura baldin badabil, ziklo bakoitzean xurgatzen duen hozgarriaren bolumena.

Emaitzak: a) 0,07453 kg/s; b) 3,272 kW; c) 3,88; d) 1,863 L.

7.29- Zentral termiko bat diseinatu da, 10 MW-eko potentzia behar duen hirigunearen elektrizitate-kontsumoa hornitzeko. Rankine zikloa burutzen duen ur-lurrun zentralak, 20 MPa eta 1 bar presioen artean lan egiten du. Zentralaren funtzionamendurako, udalak urtero 30 milioi euro inbertitzeko prest dago.

Zentralaren zehaztasun teknikoak honako hauek dira:

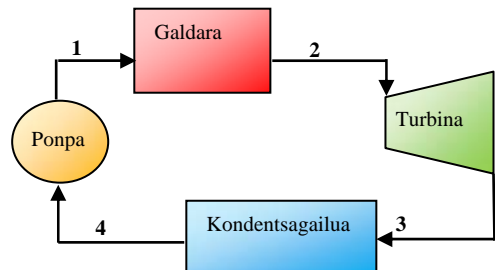
- Galdarak asetasun tenperatura baino $34,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ beroago dagoen lurrun gainberotua ematen du.
- Turbinaren etekin isoentropikoa % 80 da, eta ponpa isoentropikoa dela jo daiteke.
- Ekoiztutako lurrun-kilogramo bakoitzeko kostua 0,005 eurokoa da.
- Zentrala eguneko 24 ordu eta urteko 365 egun lanean legoke.

Proiektua egingarria den ala ez egiaztatu nahi da. Erantzuna eman, funtzionamenduaren urteko kostua eta etekin termikoa adieraziz.

Emaitzak: Urteroko kostua 24,16 milioi eurokoa da. Beraz, egingarria da. Etekina % 26,55 da.

7.30- Oilo-haztegi bat tenperatura egokian mantentzeko 50 kW-eko “beroa” behar da. Horretaz hornitzeko, Kokoriko S. Koop.-ek bero-ponpa bat erabiltzen du, berorren operazio-koefizientea 4 delarik. Bero-ponparen konprimagailua % 65 etekina duen gasolinazko motor batez eragiten da. Motorrak askatutako beroa ere, oilategiaren beroketarako aprobetxatzen da, gastuak murrizteko helburuarekin. Kalkulatu egun bateko gasolinaren kontsumoa kg-tan. Gasolinaren eduki energetikoa 10.400 kcal/kg da.

Emaitza: 33,63 kg gasolina eguneko.



7.- Lurrenaren bidezko potentzia-zikloak

OINARRIZKO EKUAZIOAK

1) Kanpo-errekuntzako motorrak:

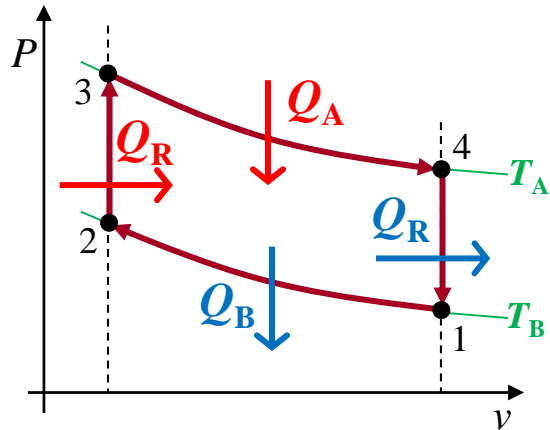
1.a) Stirling zikloa (1816):

$$Q_A = mRT_A \ln\left(\frac{v_1}{v_2}\right) = mRT_A \ln\left(\frac{P_3}{P_4}\right) > 0.$$

$$Q_B = mRT_B \ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right) = mRT_B \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) < 0.$$

$$|Q_R| = m \cdot c_v \cdot (T_A - T_B).$$

$$\eta = \frac{|W|}{|Q_A|} = 1 - \left(\frac{T_B}{T_A}\right).$$



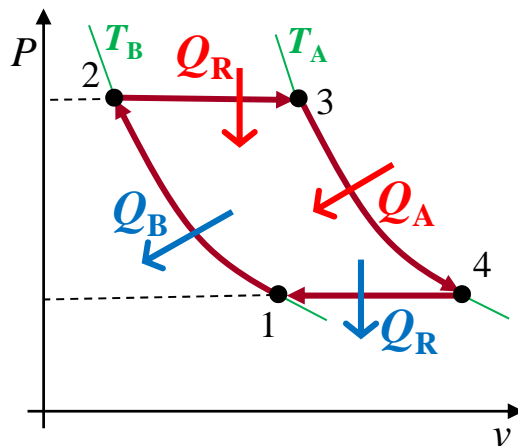
1.b) Ericsson zikloa (1853):

$$Q_A = mRT_A \ln\left(\frac{v_4}{v_3}\right) = mRT_A \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) > 0.$$

$$Q_B = mRT_B \ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right) = mRT_B \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) < 0.$$

$$|Q_R| = m \cdot c_p \cdot (T_A - T_B).$$

$$\eta = \frac{|W|}{|Q_A|} = 1 - \left(\frac{T_B}{T_A}\right).$$



8.- Gasaren bidezko potentzia-zikloak

2) Barne-errekuntzako zikloak:

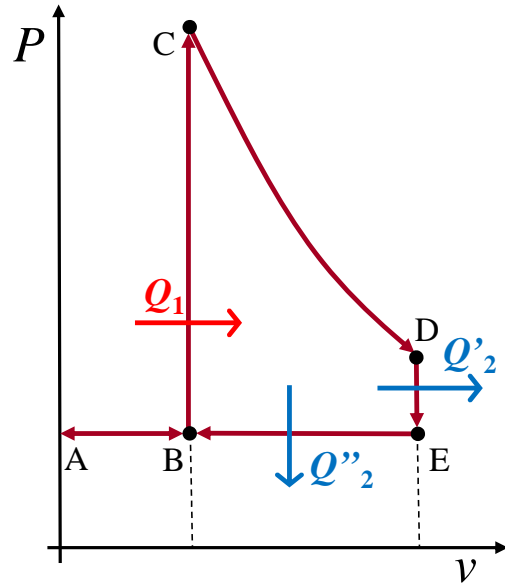
2.a) Lenoir zikloa (1860):

$$Q_1 = m \cdot c_v \cdot (T_C - T_B) > 0.$$

$$Q_2' = m \cdot c_v \cdot (T_E - T_D) < 0.$$

$$Q_2'' = m \cdot c_p \cdot (T_B - T_E) < 0.$$

$$\eta = \frac{|W|}{|Q_1|} = 1 - \frac{(|Q_2'| + |Q_2''|)}{|Q_1|}.$$



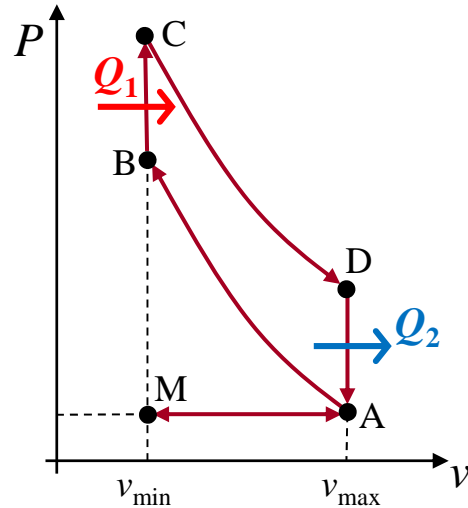
2.b) Otto zikloa:

Konprimaketa-erlazioa: $\varepsilon = (V_{\max}/V_{\min})$.

$$Q_1 = m \cdot c_v \cdot (T_C - T_B) > 0.$$

$$Q_2 = m \cdot c_v \cdot (T_A - T_D) < 0.$$

$$\eta = 1 - \left(\frac{T_D - T_A}{T_C - T_B} \right) = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}.$$



2.c) Diesel zikloa:

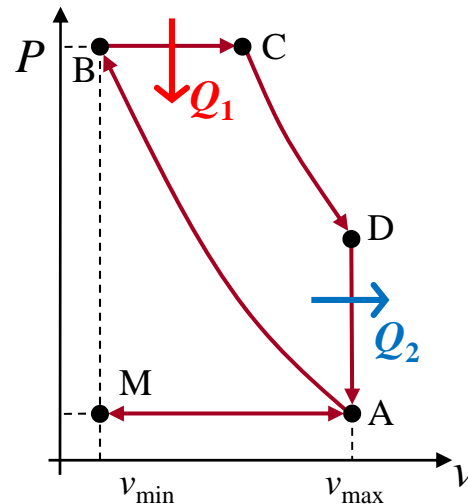
Konprimaketa-erlazioa: $\varepsilon = \frac{V_A}{V_B} = \frac{V_D}{V_B}$.

Injekzio-erlazioa: $\varphi = \frac{V_C}{V_B}$.

$$Q_1 = m \cdot c_p \cdot (T_C - T_B) > 0.$$

$$Q_2 = m \cdot c_v \cdot (T_A - T_D) < 0.$$

$$\eta = 1 - \frac{|Q_2|}{|Q_1|} = 1 - \left(\frac{c_v}{c_p} \right) \cdot \frac{(T_D - T_A)}{(T_C - T_B)} = 1 - \frac{(\varphi^k - 1)}{k \varepsilon^{k-1} (\varphi - 1)}.$$



8.- Gasaren bidezko potentzia-zikloak

2.d) Erdidiesel zikloa:

$$\text{Konprimaketa-erlazioa: } \varepsilon = \frac{V_A}{V_B} = \frac{V_E}{V_C}.$$

$$\text{Injekzio-erlazioa: } \varphi = \frac{V_D}{V_C} = \frac{V_D}{V_B}.$$

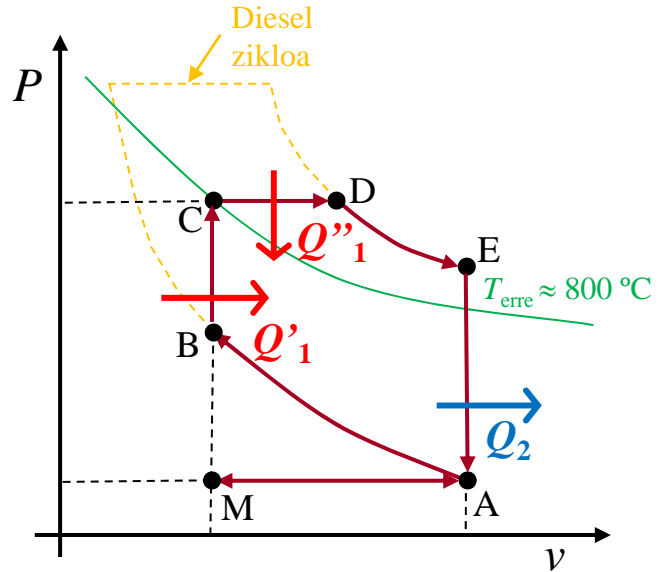
$$\text{Presio-erlazioa: } \delta = \frac{P_C}{P_B}.$$

$$Q'_1 = m \cdot c_v \cdot (T_C - T_B) > 0.$$

$$Q''_1 = m \cdot c_p \cdot (T_D - T_C) > 0.$$

$$Q_2 = m \cdot c_v \cdot (T_A - T_E) < 0.$$

$$\eta = 1 - \frac{|Q_2|}{|Q_1|} = 1 - \left(\frac{c_v \cdot (T_E - T_A)}{c_v \cdot (T_C - T_B) + c_p \cdot (T_D - T_C)} \right) = 1 - \left(\frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \right) \cdot \left(\frac{\delta \cdot \varphi^k - 1}{(\delta - 1) + \delta \cdot k \cdot (\varphi - 1)} \right).$$



2.e) Joule/Brayton zikloa (turbinak):

$$\text{Konprimaketa-erlazioa: } \varepsilon = \frac{v_1}{v_2}.$$

$$q_1 = h_3 - h_2 = c_p \cdot (T_3 - T_2) > 0.$$

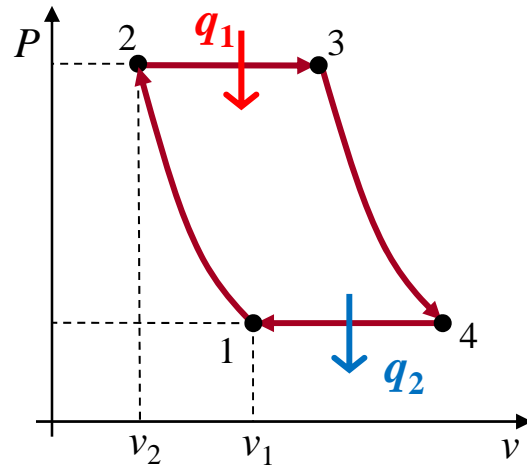
$$q_2 = h_4 - h_1 = c_p \cdot (T_4 - T_1) < 0.$$

$$T_4 = \frac{T_1 \cdot T_3}{T_2}.$$

$$w = c_p \cdot \left(T_1 + T_3 - T_2 - \frac{T_1 \cdot T_3}{T_2} \right).$$

$$w_{\max} \rightarrow T_2 = \sqrt{T_1 \cdot T_3} = T_4.$$

$$\eta = 1 - \left(\frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} \right) = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} = 1 - \frac{1}{\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}}.$$



EBATZITAKO ARIKETAK

8.A- Gas idealeko turbina-ziklo batek konprimaketa bi etapatan egiten du, eta hedapena ere bi etapatan. Presio maximoaren eta minimoaren arteko presio-erlazioa 8 da. Konprimaketako etapa bakoitzean gasa 300 K-etan sartzen da, eta hedapenetakoetan 1.300 K-etan. ($c_p = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$; $k = 1,4$)

- a) Irudikatu zikloaren T - S diagrama.
- b) Aurkitu konprimagailuek kontsumitutako lana eta turbinek emandakoaren arteko erlazioa (atzerapen-lana).
- c) Kalkulatu zikloaren etekin termikoa.
- d) Turbinek eta konprimagailuek % 85ko etekin isentropikoa badute, aurkitu etekin berria.

Ebazpena:

b) $P_1^{1-k} \cdot T_1^k = P_2^{1-k} \cdot T_2^k$.

$$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{1-k}{k}} = 300 \cdot \left(\frac{1}{8}\right)^{\frac{1-1,4}{1,4}} = 543 \text{ K} = T_4.$$

$P_5^{1-k} \cdot T_5^k = P_6^{1-k} \cdot T_6^k$.

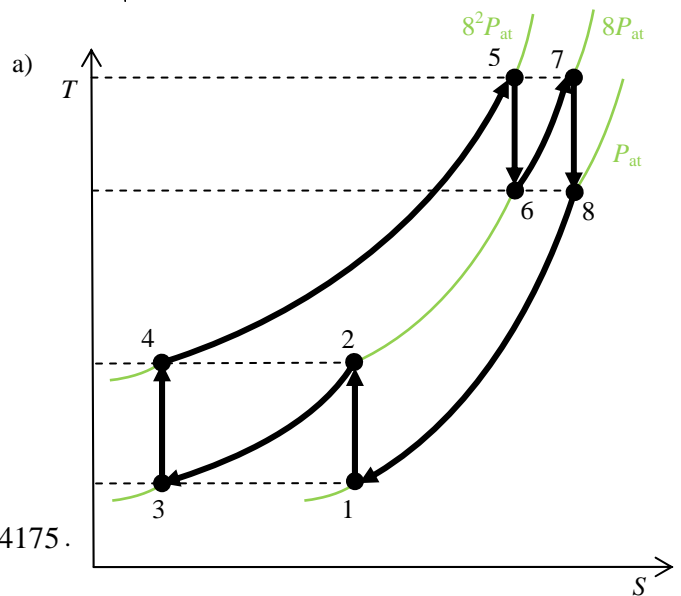
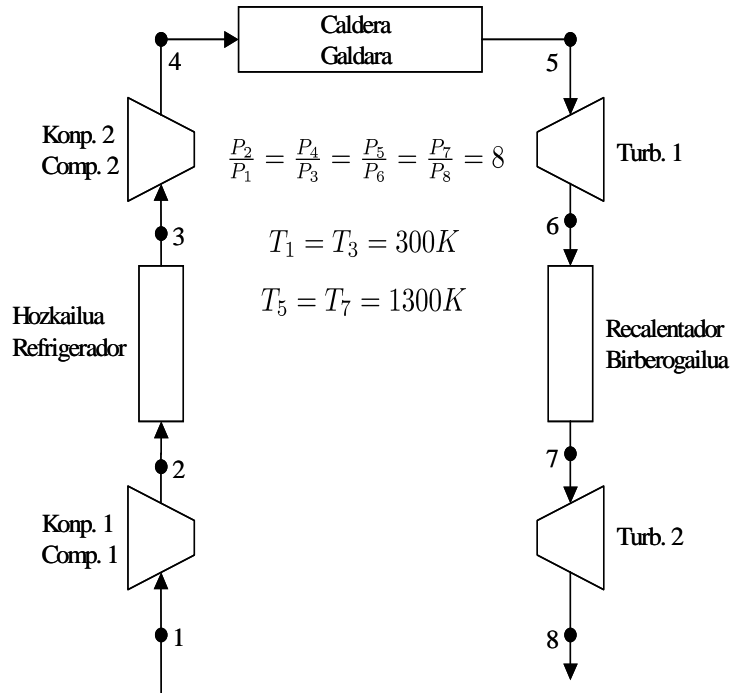
$$T_6 = T_5 \cdot \left(\frac{P_5}{P_6}\right)^{\frac{1-k}{k}} = 1.300 \cdot (8)^{\frac{1-1,4}{1,4}} = 718 \text{ K} = T_8.$$

$$\frac{|w_{12}| + |w_{34}|}{|w_{56}| + |w_{78}|} = \frac{|T_1 - T_2| + |T_3 - T_4|}{|T_5 - T_6| + |T_7 - T_8|} = \frac{5.543 - 300}{1.300 - 718} = 0,4175.$$

c) $\eta = \frac{|w_{\text{ziklo}}|}{|q_{45}| + |q_{67}|} = \frac{|2 \cdot (300 - 543) + 2 \cdot (1.300 - 718)|}{|1.300 - 543| + |1.300 - 718|} = 0,5063.$

d) $\eta_K = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_2'}$.

$$T_2' = 300 - \left(\frac{300 - 543}{0,85}\right) = 586 \text{ K} = T_4'.$$



8.- Gasaren bidezko potentzia-zikloak

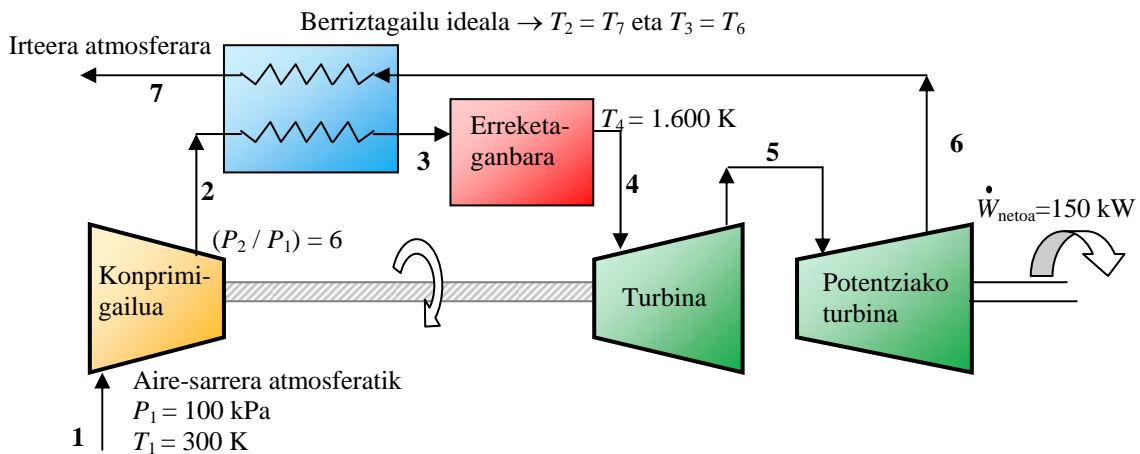
$$\eta_T = \frac{T_5 - T'_6}{T_5 - T_6}$$

$$T'_6 = 1.300 - 0,85 \cdot (1.300 - 718) = 805 \text{ K} = T'_8$$

$$\eta = \frac{|2 \cdot (300 - 586) + 2 \cdot (1.300 - 805)|}{|1.300 - 586| + |1.300 - 805|} = 0,3457$$

8.B- Irudiko gas-turbinaren zikloa ibilgailu baten motorrean erabiltzen da. Lehenengo turbinan gasa P_5 presioraino hedatzen da; turbina horrek emandako potentzia osoa konprimagailua eragiteko erabiltzen da. Ondoren, gasa trakzio-gurpilei lotutako beste turbinan zehar hedatzen da. Funtzionamenduaren datuak irudian ematen dira. Prozesu guztiak idealak dira, eta gasa airea da ($c_p = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$; $k = 1,4$). Aurkitu:

- gas-turbinaren (Joule-Brayton) zikloaren T - S diagrama, irudiari dagozkion puntuak bertan adieraziz.
- P_5 presioa.
- Makinak emandako lan espezifiko netoa eta airearen masa-emaria.
- Makinaren etekin termikoa.



Ebazpena: a)

$$b) |w_{1 \rightarrow 2}| = |w_{4 \rightarrow 5}|$$

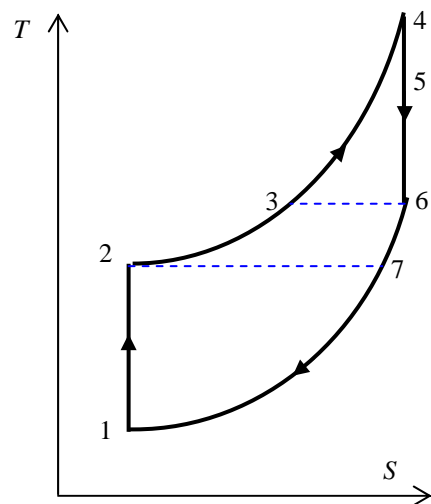
$$c_p \cdot (T_2 - T_1) = c_p \cdot (T_4 - T_5) \rightarrow T_5 = T_4 + T_1 - T_2$$

$$P_1^{1-k} \cdot T_1^k = P_2^{1-k} \cdot T_2^k$$

$$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1-k}{k}} = 300 \cdot \left(\frac{1}{6} \right)^{\frac{1-1,4}{1,4}} \approx 501 \text{ K}$$

$$T_5 \approx 1.600 + 300 - 501 = 1.399 \text{ K}$$

$$P_4^{1-k} \cdot T_4^k = P_5^{1-k} \cdot T_5^k$$



8.- Gasaren bidezko potentzia-zikloak

$$P_5 = P_4 \cdot \left(\frac{T_4}{T_5}\right)^{\frac{k}{1-k}} = 600 \cdot \left(\frac{1.600}{1.399}\right)^{\frac{1,4}{1-1,4}} \approx 375 \text{ kPa}.$$

$$c) T_6 = 1.600 \cdot \left(\frac{6}{1}\right)^{\frac{1-1,4}{1,4}} \approx 959 \text{ K}.$$

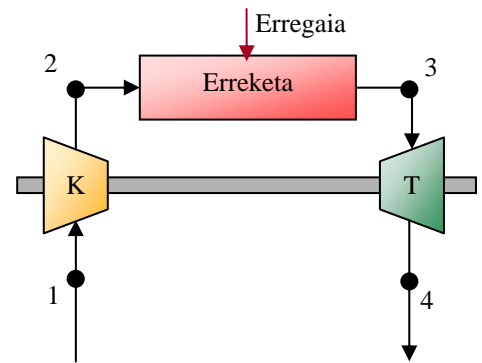
$$w_{\text{netoa}} = c_p \cdot (T_5 - T_6) = 1,005 \cdot (1.399 - 959) = 442,2 \text{ kJ}.$$

$$\dot{m} = \frac{150}{442,2} = 0,339 \text{ kg/s}.$$

$$d) \eta = \frac{w_{\text{netoa}}}{c_p \cdot (T_4 - T_3)} = \frac{442,2}{1,005 \cdot (1.600 - 959)} = 0,686.$$

8.C- Lan-fluido modura airea erabiltzen duen Joule-Brayton ziklo ideal batean presioen arteko erlazioa 12 da. Airea konprimagailura 100 kPa-etan eta 300 K-tan sartzen da, eta turbinara 1.000 K-etan. Kalkulatu ondoko kasuetan beharrezkoa den masa-fluxua, irteerako potentzia netoa 30 MW-ekoa izateko:

- konprimagailua eta turbinaren etekin isoentropikoak % 100 direnean.
- Konprimagailua eta turbinaren etekin isoentropikoak % 80 direnean.
- Aurreko bi kasuetarako kalkulatu etekin termikoak eta marraztu T - S diagramak.



Kalkuluak erraztearren bero espezifikoa konstantea dela joko dugu: $k = 1,4$ eta $c_p = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$.

Ebazpena: a) Lerro adiabatiko itzulgarrietan: $T^k \cdot P^{1-k} = \text{kte}$.

$$T_{2s} = T_1 \cdot \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{1-k}{k}} = 610,18 \text{ K}.$$

$$T_{4s} = T_3 \cdot \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1-k}{k}} = 491,66 \text{ K}.$$

$$\eta_{\text{itzulg}} = 1 - \frac{1}{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}} = 1 - \frac{1}{(12)^{\frac{1,4-1}{1,4}}} = 0,5083.$$

$$w_{\text{itzulg}} = \eta_{\text{itzulg}} \cdot q_1 = \eta_{\text{itzulg}} \cdot c_p \cdot (T_3 - T_{2s}) = 199,02 \text{ kJ/kg}.$$

$$\dot{W} = \dot{m} \cdot w_{\text{itzulg}} \rightarrow \dot{m} = 150,64 \text{ kg/s}.$$

b) Adiabatikoak itzulezinak badira:

8.- Gasaren bidezko potentzia-zikloak

$$w_{\text{turb}} = 0,8 \cdot (h_3 - h_{4s}) = 0,8 \cdot c_p \cdot (T_3 - T_{4s}) = 408,71 \text{ kJ/kg}.$$

$$w_{\text{turb}} = (h_3 - h_4) = c_p \cdot (T_3 - T_4) \rightarrow T_4 = 593,33 \text{ K}.$$

$$w_{\text{komp}} = \frac{(h_1 - h_{2s})}{0,8} = \frac{c_p \cdot (T_1 - T_{2s})}{0,8} = -389,66 \text{ kJ/kg}.$$

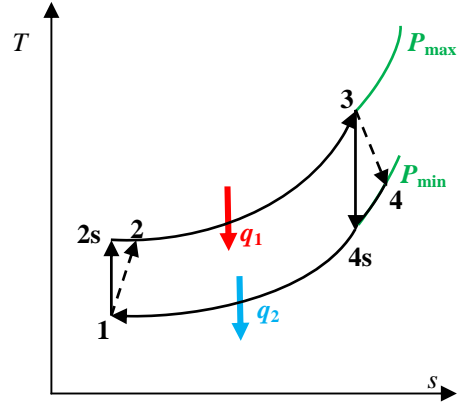
$$w_{\text{komp}} = (h_1 - h_2) = c_p \cdot (T_1 - T_2) \rightarrow T_2 = 687,73 \text{ K}.$$

$$w_{\text{itzulezin}} = w_{\text{turb}} + w_{\text{komp}} = 19,3 \text{ kJ/kg}.$$

$$\dot{m}_{\text{itzulezin}} = \frac{\dot{W}}{w_{\text{itzulezin}}} = 1.575,3 \text{ kg/s}.$$

$$c) \eta_{\text{itzulg}} = 1 - \frac{|q_2|}{q_1} = 1 - \frac{c_p \cdot (T_{4s} - T_1)}{c_p \cdot (T_3 - T_{2s})} = 0,5083.$$

$$\eta_{\text{itzulez}} = 1 - \frac{|q_2|}{q_1} = 1 - \frac{c_p \cdot (T_4 - T_1)}{c_p \cdot (T_3 - T_2)} = 0,0607.$$



8.D- Beheko irudian gas-turbinadun potentzia-zentral txiki baten fluxu-diagrama ageri da. Airearen emari masikoa 5 kg/s-koa da. Presio altuko turbina (HPT) konpresorea eragiteko baino ez da erabiltzen. Presio baxuko turbinak (LPT) zentralaren irteerako potentzia netoa ematen du, 570 kW, alegia. Konpresorea eta bi turbinak adiabatikoak eta itzulezinak dira, konpresorearen etekin isentropikoa % 70 delarik.

a) $T_8 = 527 \text{ }^\circ\text{C}$ dela hartuz, kalkulatu sarrerako beroak (\dot{Q}_{3-4} eta \dot{Q}_{5-6}) eta etekina.

b) Irudikatu zikloaren T - S diagrama.

Kalkuluetan erabili beharreko datuak:

$$c_p = 1,005 \text{ kJ/(kg K)};$$

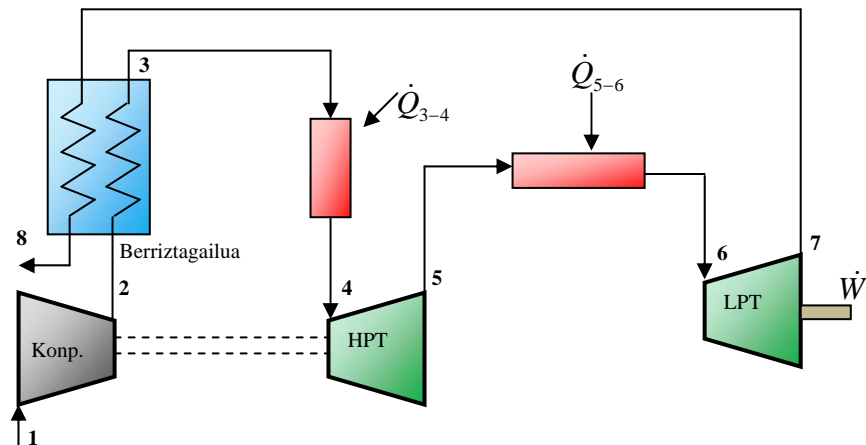
$$k = 1,4;$$

$$P_1 = P_8 = 1 \text{ atm};$$

$$P_2 = 6 \text{ atm};$$

$$T_1 = 5 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$T_4 = T_6 = 760 \text{ }^\circ\text{C}.$$



Ebazpena: a) Konprimagailu isentropikoaren irteerako tenperatura:

$$P_1^{1-k} \cdot T_1^k = P_2^{1-k} \cdot T_{2s}^k \rightarrow T_{2s} = 463,8 \text{ K} = 190,8 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Konprimagailuaren etekin isentropikoa erabiliz, irteerako tenperatura lortzen dugu:

8.- Gasaren bidezko potentzia-zikloak

$$\eta_k = 0,70 = \frac{c_p \cdot (T_{2s} - T_1)}{c_p \cdot (T_2 - T_1)} \rightarrow T_2 = 543,49 \text{ K} = 270,49^\circ\text{C}.$$

Presio altuko turbinak ekoizten duen potentzia konprimagailuak kontsumitzen duenaren berdina da:

$$\dot{W}_{45} = |\dot{W}_{12}| = 1.334,11 \text{ kW}.$$

$$\dot{m} \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1) = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_4 - T_5).$$

Beraz, presio altuko turbinaren irteerako tenperatura hau izango da: $T_5 = 767,5 \text{ K} = 449,5^\circ\text{C}$.

$$\text{Bigarren bero-xurgapena: } \dot{Q}_{56} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_6 - T_5) = 1.334,11 \text{ kW}.$$

Presio baxuko turbinaren potentzia:

$$\dot{W}_{67} = \dot{m} \cdot (h_6 - h_7) = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_6 - T_7) \rightarrow T_7 = 919,6 \text{ K} = 647^\circ\text{C}.$$

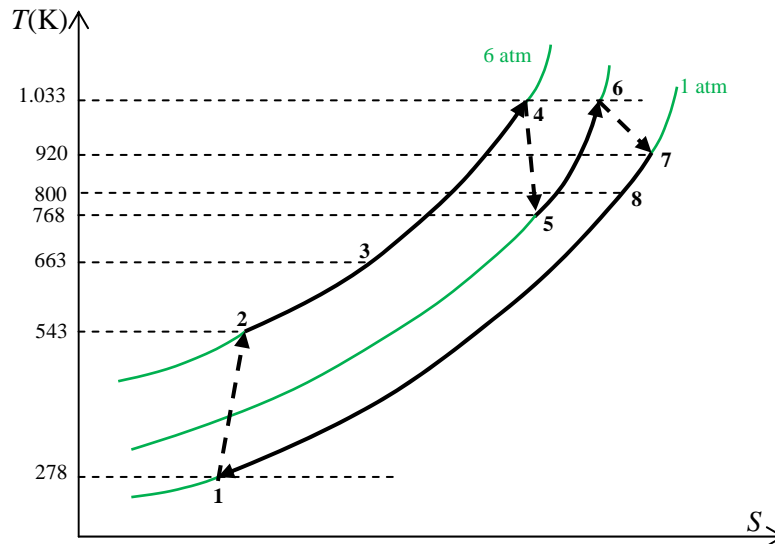
Bero-trukagailuan gertatzen den bero-transferentziarekin, tenperaturen arteko erlazioa lortuko dugu, bi masa-fluxuak berdinak direlako:

$$\dot{m} \cdot c_p \cdot (T_3 - T_2) = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_7 - T_8) \rightarrow T_3 = T_7 - T_8 + T_2 \rightarrow T_3 = 663,1 \text{ K} = 390^\circ\text{C}.$$

$$\dot{Q}_{34} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_4 - T_3) = 1.858,94 \text{ kW}.$$

Horrela, zikloaren etekina honako hau da: $\eta = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}} = \frac{\dot{W}_{67}}{(\dot{Q}_{34} + \dot{Q}_{56})} = 0,1785$.

b)



8.E- Bi aldiko Otto aire-ziklo estandar batean konprimaketa-erlazioa 9,5 da. Konprimaketaren aurretik airea 100 kPa-etan, 17 °C-tan dago eta 600 cm³-ko bolumena betetzen du. Hedapenaren ondorengo tenperatura 800 K-ekoa da. Kalkulatu:

a) Zikloan lortzen diren tenperatura eta presiorik handienak.

b) Nahasketaren erlazio estekiometrikoa (gasolinaren masa, aire kg bakoitzeko) eta gasolinaren kontsumoa litro/h-tan motorrak 3.000 bira/min-tan funtzionatzen badu.

8.- Gasaren bidezko potentzia-zikloak

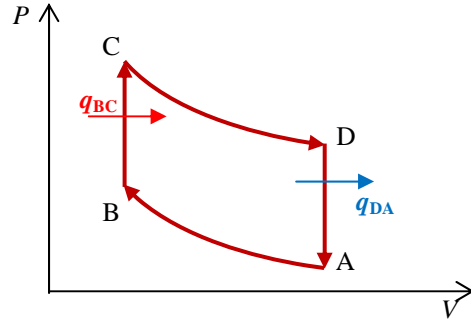
c) Batezbesteko presio eraginkorra.

d) Motorraren etekina. Zein izango litzateke Stirling motor baten etekina, temperatura maximo eta minimo berdinaren artean funtzionatuko balu?

Datuak: $c_v = 0,718 \text{ kJ/(kg K)}$; $c_p = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$; gasolinaren bero-ahalmena $q_g = 44.000 \text{ kJ/kg}$; gasolinaren dentsitatea $\rho_g = 0,75 \text{ g/cm}^3$.

Ebazpena:

	A	B	C	D
$P(\text{kPa})$	100	2.336,36	6.445,12	275,86
$V(\text{cm}^3)$	600	63,16	63,16	600
$T(\text{K})$	290	713,20	1.967,46	800



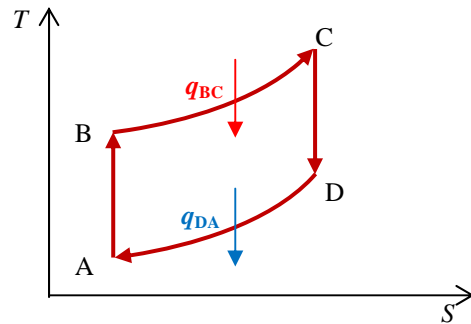
$$a) k = \frac{1,005}{0,718} = 1,3997.$$

$$T_A \cdot V_A^{k-1} = T_B \cdot V_B^{k-1} \rightarrow T_B = 290 \cdot 9,5^{1,3997-1} = 713,20 \text{ K}.$$

$$\frac{P_A \cdot V_A}{T_A} = \frac{P_B \cdot V_B}{T_B} \rightarrow P_B = 100 \cdot \left(\frac{713,20}{290} \right) = 2.336,36 \text{ kPa}.$$

$$T_C \cdot V_C^{k-1} = T_D \cdot V_D^{k-1} \rightarrow T_C = 800 \cdot 9,5^{1,3997-1} = 1.967,46 \text{ K}.$$

$$\frac{P_C \cdot V_C}{T_C} = \frac{P_D \cdot V_D}{T_D} \rightarrow P_C = 2.336,25 \cdot \left(\frac{1.967,46}{713,20} \right) = 6.445,12 \text{ kPa}.$$



$$b) q_{BC} = c_v \cdot (T_3 - T_2) = 0,718 \cdot (1.967,46 - 713,20) = 900,6 \text{ kJ/kg}.$$

$$m_a \cdot q_{BC} = m_g \cdot q_g.$$

$$\text{Nahasketaren erlazio estekiometrika: } \frac{m_g}{m_a} = \frac{900,6}{44.000} = 0,020467 \frac{\text{kg gasolina}}{\text{kg aire}}.$$

$$R = 1,005 - 0,718 = 0,287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}.$$

$$m_a = \frac{P_A \cdot V_A}{R \cdot T_A} = \frac{100 \cdot 6 \cdot 10^{-4}}{0,287 \cdot 290} = 7,2089 \cdot 10^{-4} \frac{\text{kg aire}}{\text{ziklo}}.$$

$$7,2089 \cdot 10^{-4} \cdot 900,6 \frac{\text{kJ}}{\text{ziklo}} \cdot \frac{1 \text{ kg gasol.}}{44.000 \text{ kJ}} \cdot \frac{3.000 \text{ ziklo}}{1 \text{ min}} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \cdot \frac{1 \text{ litro gasol.}}{0,75 \text{ kg gasol.}} = 3,54 \frac{\text{litro gasol.}}{\text{h}}.$$

8.- Gasaren bidezko potentzia-zikloak

$$c) W_{\text{zikloa}} = m_a \cdot c_v \cdot [(T_C - T_B) - (T_D - T_A)].$$

$$W_{\text{zikloa}} = 7,2089 \cdot 10^{-4} \cdot 0,718 \cdot [(1.967,5 - 713,2) - (800 - 290)] = 0,3851 \text{ kJ}.$$

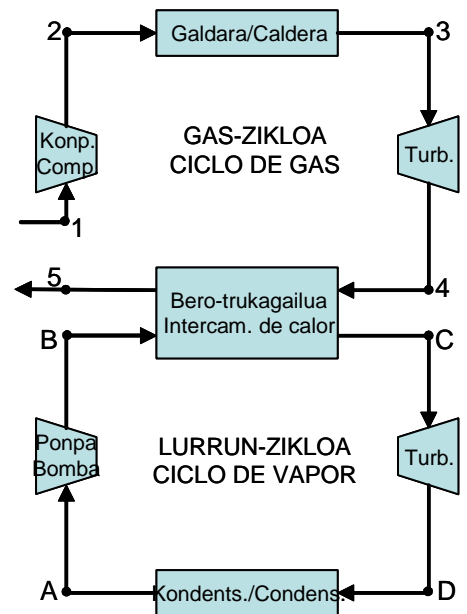
$$\text{Batezbesteko presio eraginkorra: } W_{\text{zikloa}} = P_m \cdot (V_A - V_B).$$

$$P_m = \frac{0,3851}{\left(6 \cdot 10^{-4} - \frac{1}{9,5} 6 \cdot 10^{-4}\right)} = 717,34 \text{ kPa}.$$

$$d) \eta = 1 - \left(\frac{800 - 290}{1.967,5 - 713,2}\right) = 0,5933.$$

$$\eta_{\text{Stirling}} = 1 - \left(\frac{290}{1.967,5}\right) = 0,8526.$$

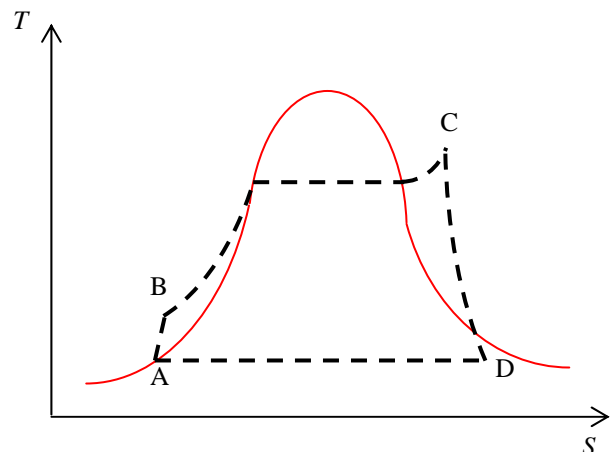
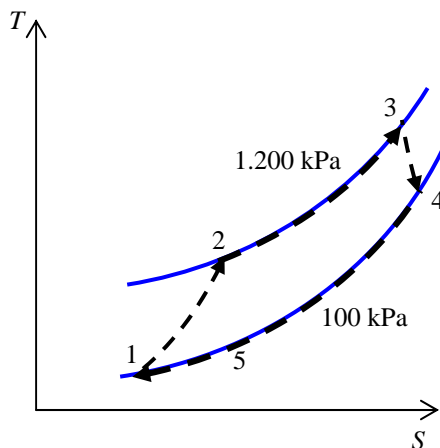
8.F- Ziklo konbinatuko zentral batek 45 MW-eko potentzia netoa ekoizten du. Aireak 100 kPa-etan eta 300 K-etan sartzen da gas-zikloaren konprimagailura, bertan 1.200 kPa-eraino konprimitzen delarik. Konprimagailuaren etekin isoentropikoa % 84 da. Gas-turbinaren sarrerako baldintzak 1.200 kPa eta 1.400 K dira. Aireak turbinan zehar hedatzen da 100 kPa-eko presioraino, etekin isoentropikoa % 88 izanik. Jarraian, airea bero-trukagailu komunean zehar igarotzen da eta azkenean eguratsera botatzen da 400 K-etan. Lurruna lurrun-zikloaren turbinara 8 MPa-etan eta 400 °C-tan sartzen da eta kondentsagailuaren presioraino hedatzen da, 8 kPa hain zuzen. Ura ponpan sartzen da likido ase moduan 8 kPa-etan. Lurrun-zikloan, turbinaren etekin isoentropikoa % 90koa da. Mesprezatu ponpak kontsumitutako lana.



- Irudikatu gas- eta lurrun-zikloen T - S diagramak.
- Aurkitu aire eta lurrunaren emariak, kg/s-tan, eta turbina bakoitzak garatzen duen potentzia MW-tan.
- Aurkitu gas-zikloaren etekina, lurrun-zikloarena eta ziklo konbinatuarena. Alderatu azken hori temperatura maximo eta minimo berberen artean dabilen ziklo itzulgarri batenarekin.

Datuak: $c_p(\text{airea}) = 1 \text{ kJ}/(\text{kg K})$; $k(\text{airea}) = 1,4$.

Ebazpena: a)



8.- Gasaren bidezko potentzia-zikloak

$$b) T_{2s} = \left(\frac{100}{1.200} \right)^{-\left(\frac{0,4}{1,4} \right)} \cdot 300 = 610 \text{ K} \rightarrow T_2 = 300 - \left(\frac{300 - 610}{0,84} \right) = 669 \text{ K}.$$

$$T_{4s} = \left(\frac{1.200}{100} \right)^{-\left(\frac{0,4}{1,4} \right)} \cdot 1.400 = 688 \text{ K} \rightarrow T_4 = 1.400 - 0,88 \cdot (1.400 - 688) = 773 \text{ K}.$$

Orduan, gas-ziklorako: $T_1 = 300 \text{ K}$; $T_2 = 669 \text{ K}$; $T_3 = 1.400 \text{ K}$; $T_4 = 773 \text{ K}$; $T_5 = 400 \text{ K}$.

Lurrun-zikloa: $h_c = 3.138,0 \text{ kJ/kg}$; $s_c = 6,3630 \text{ kJ/(kg K)} = s_{DS}$.

$$x_{DS} = 0,7559 \rightarrow h_{DS} = 1.989,71 \text{ kJ/kg}.$$

$$h_D = 3.138,0 - 0,90 \cdot (3.138,0 - 1.989,71) = 2.104,54 \text{ kJ/kg}.$$

$$h_A = 173,85 \text{ kJ/kg} \approx h_B.$$

$$\left. \begin{aligned} 45.000 &= \dot{m}_a \cdot 1 \cdot [(300 - 669) + (1.400 - 773)] + \dot{m}_v \cdot (3.138,0 - 2.104,54) \\ \dot{m}_v \cdot (3.138,0 - 173,85) &= -\dot{m}_a \cdot 1 \cdot (400 - 773) \end{aligned} \right\}$$

$$\left\{ \begin{aligned} \dot{m}_v &= 14,59 \text{ kg/s} \\ \dot{m}_a &= 115,97 \text{ kg/s} \end{aligned} \right.$$

$$\dot{W}_{3 \rightarrow 4} = 115,97 \cdot 1 \cdot (1.400 - 773) = 72.713,2 \text{ kW} \approx 72,71 \text{ MW}.$$

$$\dot{W}_{C \rightarrow D} = 14,59 \cdot (3.138,0 - 2.104,54) = 15.078,2 \text{ kW} \approx 15,08 \text{ MW}.$$

$$c) \eta_a = 1 - \left(\frac{773 - 300}{1.400 - 669} \right) = 0,3529.$$

$$\eta_v = \frac{3.138,0 - 2.104,54}{3.138,0 - 173,85} = 0,3487.$$

$$\eta_{\text{ziklo konbinatua}} = \frac{45.000}{115,97 \cdot 1 \cdot (1.400 - 669)} = 0,5308 < \eta_{\text{Carnot}} = 1 - \left(\frac{273 + 42}{1.400} \right) = 0,775.$$

8.- Gasaren bidezko potentzia-zikloak

ARIKETAK EMAITZEKIN

8.1- Kalkula ezazu Carnot-en zikloa egiten duen motor baten etekin termikoa, 1.200 K-eko temperatura maximoaren eta 20 °C-ko ingurukoaren artean dabilela jakinik.

Eraitza: $\eta = 0,756$.

8.2- Kalkula ezazu Otto aire-ziklo estandarra egiten duen gasolinazko motor baten etekin termikoa, 1.200 K-eko temperatura maximoaren eta 20 °C-ko ingurukoaren artean dabilela jakinda. Konprimaketa-erlazioa 8 da. Har ezazu airerako $k = 1,4$.

Eraitza: $\eta = 0,565$.

8.3- Otto aire-ziklo estandarra burutzen duen gasolinazko motor baten konprimaketa-erlazioa 8 da. Motorrak 30 kW-eko potentzia ekoizten duela jakinik, kalkula ezazu gasolinaren kontsumoa. Erregaiaren eduki energetikoa 44 MJ/kg-koa da. Har ezazu airerako $k = 1,4$.

Eraitza: 0,00121 kg/s.

8.4- Kalkula ezazu 1.200 K-eko temperatura maximoa eta 20 °C-ko temperatura minimoaren artean airez dabilen ziklo itxiko gas-turbinadun motor baten etekin termikoa. Har itzazu presio-erlaziorako 10 eta $k = 1,4$.

Eraitza: % 48,8.

8.5- Aurreko ariketaren motorrean presioen erlazioa egokiena dela jota, kalkula itzazu lan espezifikorearen irteera eta etekin termikoa. Hartu airerako $c_p = 1,005$ kJ/(kg K).

Eraitzak: 308,5 kJ/kg; % 50,6.

8.6- Gasolinako motor batek Otto aire-ziklo estandarra burutzen du. Motorraren konprimaketa-erlazioa 8 da. Motorrak 25 ziklo/s egiten ditu, eta ziklo bakoitzaren hasieran 0,002 kg aire sartzen da. Ingurunekeo temperatura 17 °C da, eta temperatura maximoa zikloan 1.500 K. Kalkula ezazu motorraren irteerako potentzia. Airearen datuak: $c_v = 0,72$ kJ/(kg K); $k = 1,4$.

Eraitza: 16,96 kW.

8.7- Gas-turbinadun motor batek aire-ziklo irekia burutzen du. Airea 100 kPa-etan eta 20 °C-tan sartzen da konprimagailura 12 kg/s-ko masa-fluxuaz. Zikloaren barruan presio eta temperatura maximoak 1,4 MPa eta 1.250 K dira. Kalkula itzazu etekin termikoa eta irteerako potentzia. Airearen datuak: $c_p = 1,005$ kJ/(kg K); $k = 1,4$.

Eraitzak: 0,5295; 4 MW.

8.8- Diesel aire-ziklo estandar batean, hasierako egoeraren datuak honako hauek dira: 1 bar, 0,06 m³ eta 20 °C. Zikloaren konprimaketa-erlazioa 14 da, eta injekzio-erlazioa 2. Airearen masa-emaria 1,2 kg/min-koa da. Zehaztu zikloaren egoera guztien datuak, eta kalkulatu etekin termikoa eta motorraren potentzia. Airearen datuak: $c_p = 1,008$ kJ/(kg K); $c_v = 0,72$ kJ/(kg K); $k = 1,4$.

Eraitzak: 0,59; 10,06 kW.

8.9- Motor batek ondoko prozesuez osaturiko aire-zikloa burutzen du:

1-2: konprimaketa adiabatiko itzulgarria.

8.- Gasaren bidezko potentzia-zikloak

2-3: 870 kJ/kg-ko bero-xurgapena presio konstantean.

3-4: hedapen adiabatiko itzulgarria.

4-1: 450 kJ/kg-ko bero-askapena presio konstantean.

Marraz ezazu zikloa P - v diagraman. Kalkula itzazu lan espezifikorearen irteera eta etekin termikoa.

Emaitzak: 420 kJ/kg; 0,483.

8.10- Joule-Brayton ziklo batean, airea konprimagailura sartzen da 1 kg/cm^2 -ko bolumen espezifikorekin eta $17 \text{ }^\circ\text{C}$ -ko tenperaturarekin. Turbinara $800 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan sartzen da. Hartu airerako: $c_p = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$; $k = 1,4$. Kalkulatu:

a) zikloaren bitarteko tenperatura lana maximoa izan dadin.

b) Zikloaren etekin termikoa.

c) Amaierako presioa konprimagailuan.

d) Makinaren potentzia 1.800 ZP bada, aurkitu erregaiaren kontsumo teorikoa. Erregaiaren eduki energetikoa 10.000 kcal/kg -koa da.

Emaitzak: a) $285 \text{ }^\circ\text{C}$; b) % 48; c) $9,88 \text{ kg/cm}^2$; d) 237 kg/h .

8.11- Aurreko ariketan zikloari berriztagailu bat gehituko diogu. Kalkulatu Joule ziklo berriaren etekina aurreko ariketaren datuak erabiliz. Airea egoera berean sartzen da konprimagailura, baina bertan $252 \text{ }^\circ\text{C}$ -raino konprimitzen da. Berriztagailuan airea $285 \text{ }^\circ\text{C}$ -raino berotzen da, eta turbinara $800 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan sartzen da.

Emaitza: % 47,6.

8.12- Joule-Brayton ziklo ideal batek aire arrunta erabiltzen du. Airea konprimagailura sartzen da $0,95 \text{ bar}$ -etan eta $22 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan. Presioen erlazioa $6:1$ da, eta erreketaganbaratik airea 1.100 K -tan ateratzen da. Airearen datuak honako hauek dira: $c_p = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$; $k = 1,4$. Kalkulatu:

a) konprimagailuak egindako lan espezifikoa.

b) Turbinak egindako lan espezifikoa.

c) Zikloaren etekin termikoa.

d) Aztertu berriztagailu ideal bat erabiltzeak etekinean duen eragina ere.

Emaitzak: a) $47,3 \text{ kcal/kg}$; b) $105,8 \text{ kcal/kg}$; c) $0,401$; d) $0,553$.

8.13- Otto motor ideal batean, airearen hasierako datuak hauek dira: 1 kg/cm^2 eta $37 \text{ }^\circ\text{C}$. Konprimaketa isoentropikoaren ondorengo presioa 24 kg/cm^2 -koa da. Erreketaren amaieran presioa 77 kg/cm^2 -koa da. Airearen datuak: $c_v = 0,72 \text{ kJ/(kg K)}$; $k = 1,4$. Aurkitu:

a) konprimaketa-erlazioa eta konprimitu gabe geratzen den bolumenaren portzentajea.

b) Erreketaren ondorengo tenperatura.

c) Zikloaren etekina.

d) Batezbesteko presioa.

Emaitzak: a) $9,68$; % $11,52$; b) 2.466 K ; c) % $59,7$; d) $9,14 \text{ kg/cm}^2$.

8.- Gasaren bidezko potentzia-zikloak

8.14- Diesel motor bateko ziklo bakoitzean 0,0183 kg erregai sartzen dira, 10.170 kcal/kg-ko eduki energetikoduna, eta airearen 0,41 kg. Konprimaketaren hasieran tenperatura 60 °C-koa da. Zikloaren konprimaketa-erlazioa 14 da, eta $c_p = 1,005$ kJ/(kg K). Zein izan behar da ziklo idealaren injekzio-erlazioa?

Emaitza: 2,976.

8.15- Erdidiesel ziklo ideal baten hasieran, sartzen den 0,5 kg-ko aire-masa 1 kg/cm²-tan eta 27 °C-tan dago. Konprimaketa-erlazioa 9 da, eta bolumen konstanteko beroketaren amaierako presioa 33 kg/cm². Presio konstanteko hedapeneko bero-xurgapena 25 kcal-koa da. Airearen bero espezifikoak: $c_p = 1,005$ kJ/(kg K) eta $c_v = 0,72$ kJ/(kg K). Aurkitu:

- injekzio-erlazioa.
- Konprimatu gabe geratzen den bolumen-portzentajea.
- Hedapen-erlazioa hedapen adiabatikoan.
- Zikloaren etekina eta batezbesteko presioa.

Emaitzak: a) 1,19; b) % 12,5; c) 7,58; d) % 57,7; 3,6 kg/cm².

8.16- Gas-turbinaren ziklo batean airea 1 kg/cm²-tan eta 17 °C-tan sartzen da konprimagailura. Presioen erlazioa 6 da, eta zikloko tenperatura maximoa 782 °C-koa da. Turbinaren etekin isentropikoa 0,82 da eta konprimagailuarena 0,82. Konprimagailuaren etekin isentropikoa 0,75-ra jaitsiko balitz, zikloaren etekin termikoa ere jaitsiko litzateke. Konprimagailuarena jaitsi beharrean turbinarena jaisten bada beste balio guztiak aldatu gabe, zein baliotaraino jaitsi beharko litzateke zikloaren etekin termikoan eragin berdina izateko?

Emaitza: % 77,7.

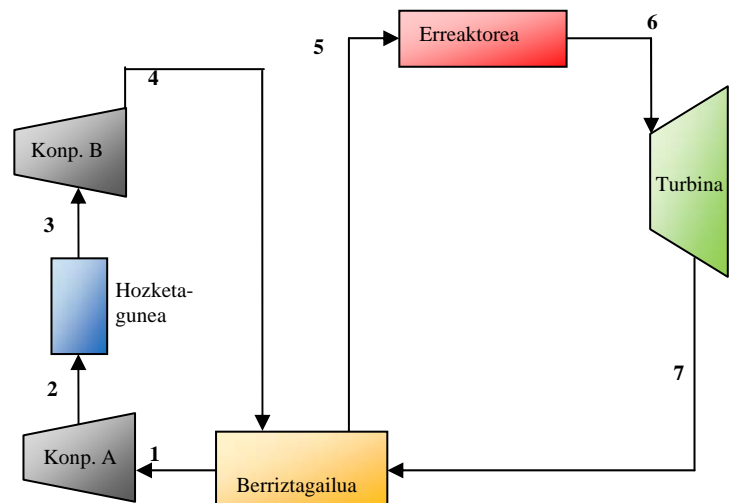
8.17- Echer-Wise konpainia suitzarrak gas-turbinaren instalakuntza bat proiektatu zuen, irudiko eskema itxiaren arabera. Zikloa burutzen duen lan-fluido helio da. Gasaren beroketa errektore atomiko batean gertatzen da. Helioaren datuak irudiko puntuetan hauek dira:

$$P_1 = 29,4 \text{ bar}; T_1 = 32 \text{ °C}; P_2 = 45,3 \text{ bar};$$

$$P_3 = 45,3 \text{ bar}; T_3 = 32 \text{ °C}; P_4 = 70,2 \text{ bar};$$

$$P_5 = 70,2 \text{ bar}; T_5 = 469 \text{ °C}; P_6 = 70,2 \text{ bar};$$

$$T_6 = 760 \text{ °C}; P_7 = 29,4 \text{ bar};$$



Sistematik helioaren 100 kg/s-ko emaria igarotzen dira. Bi konprimagailuen etekin isentropikoa % 88koa da, eta turbinarena % 88,9koa. Bero espezifikoak hauek dira: $c_v = 0,754$ kcal/(kg K); $c_p = 1,25$ kcal/(kg K).

- Kalkula itzazu T_2 , T_4 eta T_7 .
- Lortu turbinaren eta konprimagailu bakoitzaren potentzia.
- Kalkulatu sistemaren etekin termikoa.
- Marraztu zikloaren T - S diagrama.

Emaitzak: a) 97 °C; 98 °C; 492 °C; b) 140.264,5 kW; -34.019,4 kW; -34.542,75 kW; c) % 47.

8.- Gasaren bidezko potentzia-zikloak

8.18- Gas-turbina bat (Joule-Brayton zikloa) 90 kg/s-ko emariaz dabil. Konprimagailuaren sarreran airea 100 kPa-etan eta 37 °C-tan dago. Presio-erlazioa 7 da. Konprimagailuaren etekin isoentropikoa % 83koa da, eta turbinarena % 85. Zikloko tenperatura maximoa 1.100 K-ekoa da. Airearen datuak: $c_p = 1,005 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{°C)}$; $k = 1,4$ (indize adiabatikoa). Kalkula itzazu:

- etekin termiko ideala (konprimagailu eta turbinaren etekin isoentropikoak % 100 direla jota).
- Makinaren benetako etekina.
- Erregai-kontsumoa, kg/h-tan, berorren eduki energetikoa 45.000 kJ/kg dela jakinik.

Emaitzak: a) % 42,58; b) % 23,63; c) 3.705 kg erregai/h.

8.19- Gas-zikloetan bero-trukagailu bat (birsorgailua) ihes-gasen beroa aprobetxatzeko erabil daiteke etekina hobetuz. Lurrun-zikloetan, berriz, ezin da hain konfigurazio sinplea (A irudia) erabili, eta B irudia deskribatzen duen antzeko sistemak erabili behar dira. Hauetan, lehenengo turbinan hedatu eta gero, lurrunaren zati bat desbideratzen da P1 ponpatik datorren ur likidoarekin nahasteko.

- Zergatik ez du funtzionatuko A egiturak lurrun-ziklo batean?
- Kalkulatu nahasgailurantz desbideratu beharreko fluxuaren ehunekoa, nahasgailuaren irteeran likido aseaz izateko.
- Kalkulatu B potentzia-zikloaren etekina aurreko ataleko datua erabiliz (mesprezatu ponpen kontsumoa).
- Konparatu birsorgailurik gabeko ziklo baten etekinarekin, presio eta tenperatura berdinen artean funtzionatzen duena.

Fluidoak: H_2O .

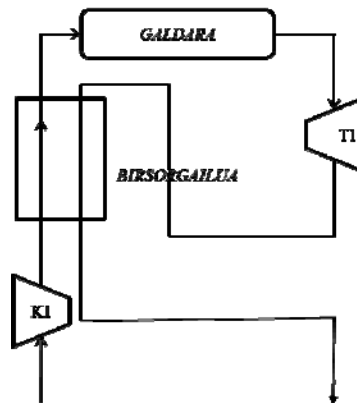
$$P_1 = P_7 = 0,04 \text{ bar.}$$

$$P_4 = P_5 = 30 \text{ bar.}$$

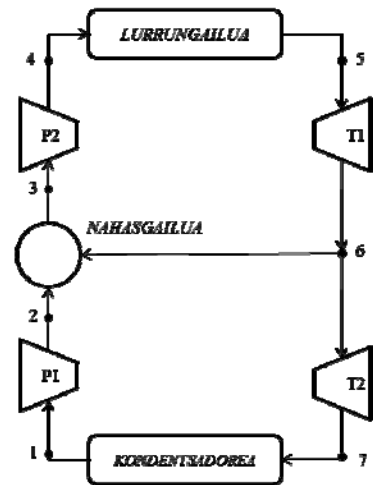
$$P_2 = P_3 = P_6 = 3 \text{ bar.}$$

$$T_5 = 450 \text{ °C.}$$

(1) = likido ase.



(A) BIRSORGAILUDUN GAS-ZIKLOA



(B) BIRSORGAILUDUN LURRUN-ZIKLOA

Emaitzak: a) Turbinatik ateratzen den lurruna ia sarrerako tenperaturekin ateratzen da; b) % 16,64; c) % 39,72; d) % 37,55.

8.20- Toyota Celica GT kotxeak lau zilindroko Otto motorra dauka. Konpresio-erlazioa 9,5 da. Pistoiaren ibilbidea 90,9 mm-koa da, bere sekzioa 50 cm^2 izanik. Aire-erregai nahasketaren hasierako presioa 85 kPa-ekoa da, eta hasierako tenperatura 300 K (kanpokoa). Ziklo bakoitzean, gasolina erretzean 200 J xurgatzen direla suposatuz. Gasarentzat balio hauek hartuz: $c_v = 0,75 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$ eta $k = 1,4$.

- Kalkulatu nahasketaren bolumen maximoa.
- Kalkulatu puntu guztietan P , T eta V aldagaien balioak.
- Irudikatu zikloaren P - V eta T - S diagramak.

8.- Gasaren bidezko potentzia-zikloak

d) Zilindro baterako, kalkulatu ziklo bakoitzean egindako lan netoa, eta baita gasa kanpoko airearen tenperaturaraino hoztean askatutako beroa ere.

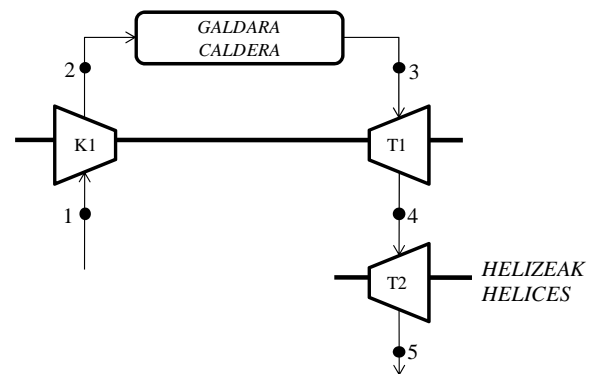
e) Motorrak 3.500 bira minutuko egiten baditu, zein da kanpoko ingurunean entropia-aldaketaren abiadura?

Emaitzak: a) eta b)

	1	2	3	4
$P(\text{kPa})$	85	1.987,2	3.483,0	148,98
$V(\text{cm}^3)$	507,97	53,47	53,47	507,97
$T(\text{K})$	300	738,4	1.294,3	525,8

d) 118,7 J; 81,3 J; e) 1,8964 kJ/(K min).

8.21- Itsasontzietan erabili ohi den gas-zikloan, hedapena bi zatitan egiten da. Presio altuko turbina batek konprimagailua elikatzen du, eta presio baxuko beste turbina batek helizeen ardatzari beharrezkoa den indar-para ematen dio. Presio-erlazio osoa 4/1 da, eta aire-fluxua 60 kg/s. Temperatura maximoa 650 °C da, eta sarrerako baldintzak 1,01 bar eta 25 °C. Konprimagailuaren, eta presio baxuko turbinaren etekin isoentropikoak 0,80 eta 0,85 dira, hurrenez hurren. Presio altuko turbina itzulgarria da. Energia zinetikoaren aldaketak eta karga-galerak arbuaiatuz, kalkulatu:



a) hedapenen arteko presioa.

b) Zikloaren etekin termikoa.

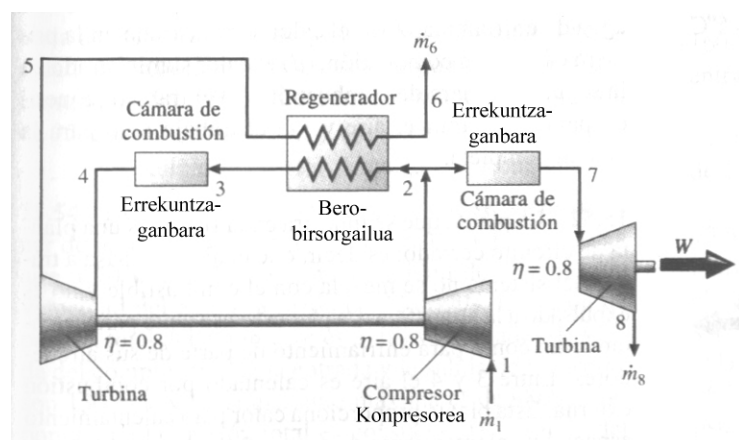
c) Irudikatu zikloaren T - S diagrama.

d) Transmisiorako erabiltzen diren sistema mekanikoen etekina % 98 bada, kalkulatu helizeei emandako potentzia.

Airearen datuak: $R = 0,287$ kJ/(kg K); $c_p = 1$ kJ/(kg K); $k = 1,4$.

Emaitzak: a) 1,88 bar; b) 0,231; d) 6,03 MW.

8.22- Alboko irudian erakusten den gas-zentralean konpresorea turbina batek mugiarazten du eta besteak 2.000 kW-ko potentzia ekoizten du, zentralaren irteerako potentzia. Konpresorea eta turbinak adiabatikoak dira eta haien etekin isoentropikoak % 80 dira. Konpresorearen sarreran airea 98 kPa-etan eta 15 °C-tan dago. Turbinen sarrerako baldintzak 410 kPa y 700 °C dira, eta airea 98 kPa-etan ateratzen da haietatik. Presio handiko airea 315 °C-tan irteten da bero-birsorgailutik. Bero-trukagailuetan presio-galerarik ez dagoela kontutan hartu, eta energia zinetikoa eta potentzialaren aldaketak mesprezagarriak direla suposatu. Lan-fluidoa aire estandarra da, eta bere datuak: $c_p = 1$ kJ/(kg K); $k = 1,4$; $R = 0,287$ kJ/(kg K).



8.- Gasaren bidezko potentzia-zikloak

- a) *TS* diagramak irudikatu.
- b) Kalkulatu errekuntza-ganbara bakoitzean emandako beroa.
- c) Zentralaren etekin termikoa lortu. Zein izango litzateke emaitza bero-birsorgailurik gabe?

Emaitzak: .

8.- Gasaren bidezko potentzia-zikloak

9.- Aire hezea

OINARRIZKO EKUAZIOAK

1) Dalton-en legea.

Aire hezearen presio totala aire lehorraren presio partziala, P_a , gehi ur-lurrunaren presio partziala, P_v , da:

$$P_T = P_a + P_v.$$

Aire lehorraren gas idealen ekuazioa:

$$P_a V = m_a R_a T \rightarrow P_a v = 0,287 T \rightarrow v [\text{m}^3/\text{kg a. l.}].$$

Ur-lurruna gas idealtzat hartzen da:

$$P_v V = m_v R_v T \rightarrow P_v v' = 0,462 T \rightarrow v' [\text{m}^3/\text{kg u. l.}].$$

Aire hezerako:

$$P_T V = (P_a + P_v) V = (m_a R_a + m_v R_v) T.$$

2) Hezetasun espezifikoa (kg ur-lurrun/kg aire lehor):

$$\omega = \frac{m_{\text{ur-lurruna}}}{m_{\text{aire lehorra}}} = \frac{m_v}{m_a} = 0,622 \cdot \left(\frac{P_v}{P_T - P_v} \right).$$

Gehienezko hezetasun espezifikoa (asetasunezko hezetasuna):

$$\omega_s = \frac{m_{v \max}}{m_a} = 0,622 \cdot \left(\frac{P_s(T)}{P_T - P_s(T)} \right).$$

Ur-lurrunerako gas idealen adierazpena hezetasun espezifikoarekin:

$$P_v v = 0,462 \omega T \rightarrow v [\text{m}^3/\text{kg a. l.}].$$

Aire hezearen adierazpen osoa hezetasun espezifikoarekin:

$$P_T v = (0,287 + 0,462 \omega) T \rightarrow v [\text{m}^3/\text{kg a. l.}].$$

3) Asetasun-gradua:

$$\varphi = \frac{\omega}{\omega_s} \rightarrow \begin{cases} \text{Aire lehorra : } \varphi = 0 \\ \text{Aire asea : } \varphi = 1 \end{cases}.$$

9.- Aire hezea

4) Hezetasan erlatiboa:

$$\phi = \frac{m_v}{m_s} = \frac{P_v}{P_s} \rightarrow \begin{cases} \text{Aire lehorra : } \phi = 0 \\ \text{Aire asea : } \phi = 1 \end{cases}$$

Hezetasan erlatiboak beste bi magnitudeekin dauzkan erlazioak:

$$\phi = \phi \cdot \left(\frac{P_T - P_s}{P_T - P_v} \right);$$

$$\omega = 0,622 \cdot \frac{\phi \cdot P_s}{(P_T - \phi \cdot P_s)};$$

$$\phi = \frac{\omega}{(0,622 + \omega)} \cdot \left(\frac{P_T}{P_s} \right).$$

5) Ihintz-puntua: $P_v = kT_e = P_s(T_1)$.

6) Aire hezearen entalpia:

$$H = H_a + H_v = m_a \cdot h_a + m_v \cdot h_v = m_a \cdot (h_a + \omega \cdot h_v),$$

$$h = \frac{H}{m_a} = h_a + \omega \cdot h_v \rightarrow h[\text{kJ/kg a.l.}].$$

h_a eta h_v kalkulatzeko bi aukera daude, taulak erabiltzea edo bero espezifikoaren bidez lortzea. Bero espezifikoaren bidezko adierazpena honako hau da:

$$h(\text{kJ/kg a.l.}) = T(^{\circ}\text{C}) + \omega \cdot (2.501 + 1,82 \cdot T(^{\circ}\text{C})),$$

7) Sistema batean nahasketa bat egiten bada, masaren eta energiaren kontserbazio-printzipioak aplikatu behar dira. Aire lehorren masen kasuan, honako erlazioa lortzen da:

$$m_{\text{nahastea}} = \sum m_i.$$

Nahastearen hezetasan espezifikorako hau da:

$$\omega_{\text{nahastea}} = \left(\frac{\sum \omega_i m_i}{\sum m_i} \right).$$

9.- Aire hezea

Nahastearen entalpiarako ondoko adierazpena eskuratu da:

$$h_{\text{nahastea}} = \left(\frac{\sum h_i \cdot m_i}{\sum m_i} \right).$$

8) Asetasun adiabatikoa:

$$h_a(T) + \omega \cdot h_g(T) + [(\omega_{sa} - \omega) \cdot h_f(T_{sa})] = h_a(T_{sa}) + \omega_{sa} \cdot h_g(T_{sa}).$$

Berrornitze-uraren entalpia arbuiatuz:

$$h_a(T) + \omega \cdot h_g(T) \approx h_a(T_{sa}) + \omega_{sa} \cdot h_g(T_{sa}).$$

Entalpietarako bero espezifikoen adierazpenak erabiliz:

$$T + \omega \cdot (2.501 + 1,82 \cdot T) \approx T_{sa} + \omega_{sa} \cdot (2.501 + 1,82 \cdot T_{sa}).$$

9.- Aire hezea

EBATZITAKO ARIKETAK

9.A- R-134a hozgarria erabiltzen duen aire-egokigailu batean, $4 \text{ m}^3/\text{min}$ -ko aire-fluxua sartzen da $30 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan eta % 70eko hezetasun erlatiboarekin. Hozgarria 700 kPa -tan eta % 20ko tituluarekin sartzen da, eta lurrun ase modura ateratzen da. Airea $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -raino hozten da, eta bere presio osoa 1 atm -ko balio konstantean mantentzen da. Aurkitu:

- kondentsatzen den ur-masaren emaria, kg/min -tan.
- Airetik hozgarriranzko bero-fluxua, kJ/min -tan.
- Hozgarriaren masa-emaria, kg/min -tan.

Datuak: Aire lehorra $R_a = 0,287 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$; ura $R_v = 0,462 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$.

Ebazpena: a) $\dot{m}_{\text{lik}} = \dot{m}_a \cdot (\omega_1 - \omega_2)$.

$$P_{v1} = \phi_1 \cdot P_s(T_1) = 0,70 \cdot 4,2455 = 2,97185 \text{ kPa}.$$

$$\dot{m}_a = \frac{(P_T - P_{v1}) \cdot \dot{V}_1}{R_a T_1} = \frac{(101,3 - 2,97185) \cdot 4}{(0,287 \cdot 303)} = 4,52286 \text{ kg a.l./min}.$$

$$\omega_1 = 0,622 \cdot \frac{2,97185}{(101,3 - 2,97185)} = 0,018799 \text{ kg/kg a.l.}$$

$$\omega_2 = \omega_s(T_2) = 0,622 \cdot \frac{2,3388}{(101,3 - 2,3388)} = 0,014700 \text{ kg/kg a.l.}$$

$$\dot{m}_{\text{lik}} = 4,52286 \cdot (0,018799 - 0,014700) = 0,018540 \text{ kg/min}.$$

$$\text{b) } h_1 = 30 + 0,018799 \cdot (2.501 + 1,82 \cdot 30) = 78,04 \text{ kJ/kg a.l.}$$

$$h_2 = 20 + 0,014700 \cdot (2.501 + 1,823 \cdot 20) = 57,30 \text{ kJ/kg a.l.}$$

$$h_{\text{lik}} \approx h_f(20 \text{ }^\circ\text{C}) = 83,835 \text{ kJ/kg}.$$

$$\dot{Q} = 4,52286 \cdot (57,30 - 78,04) + 0,018539 \cdot 83,835 = -92,27 \text{ kJ/min}.$$

c) Hozgarriak xurgatzen duen beroa: $|\dot{Q}| = \dot{m}_R \cdot (h_{R2} - h_{R1})$.

$$h_{R1} = 0,80 \cdot 86,78 + 0,20 \cdot 261,85 = 121,79 \text{ kJ/kg}; h_{R2} = 261,85 \text{ kJ/kg}.$$

$$\dot{m}_R = \frac{92,25}{(261,85 - 121,79)} = 0,6588 \text{ kg R134a/min}.$$

9.- Aire hezea

9.B- Aire egokigailu batera kanpo-airea 10 °C-tan eta % 30eko hezetasun erlatiboarekin sartzen da 45 m³/min-ko emari bolumetrikorekin. Bertatik, 25 °C-ko tenperaturan eta % 60eko hezetasun erlatiborekin ateratzen da. Lehendabizi kanpo-airea 22 °C-raino berotzen da beroketa-gunean, eta horren ondoren, lurrun beroa injektatuz hezitzen da hezaketa-gunean. Prozesu osoa 100 kPa-eko presiopean gertatzen da. Aurkitu:

- beroketa-gunean emandako beroa minutuko.
- Hezaketa-gunean behar den lurrunaren masa-emaria.

Ebazpena: a) $\dot{Q} = \dot{m}_a \cdot (h_2 - h_1)$.

$$\dot{m}_a = \frac{(100 - 0,30 \cdot 1,2281) \cdot 45}{0,287 \cdot (273 + 10)} = 55,20 \text{ kg a.l./min.}$$

$$\omega_1 = 0,622 \cdot \frac{0,30 \cdot 1,2281}{(100 - 0,30 \cdot 1,2281)} = 0,00230 \text{ kg/kg a.l.} = \omega_2$$

$$h_1 = 10 + 0,00230 \cdot (2.501 + 1,82 \cdot 10) = 15,79 \text{ kJ/kg a.l.}$$

$$h_2 = 22 + 0,00230 \cdot (2.501 + 1,82 \cdot 22) = 27,84 \text{ kJ/kg a.l.}$$

$$\dot{Q} = 55,20 \cdot (27,845 - 15,794) = 665,2 \text{ kJ/min.}$$

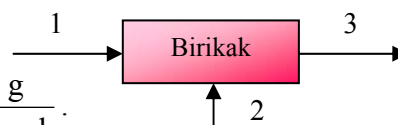
$$\text{b) } \omega_3 = 0,622 \cdot \frac{0,60 \cdot 3,1690}{(100 - 0,60 \cdot 3,1690)} = 0,01206 \text{ kg/kg a.l.}$$

$$\dot{m}_{\text{lurrun}} = 55,20 \cdot (0,01206 - 0,00230) = 0,5385 \text{ kg lurrun/min.}$$

9.C- Gizakiaren arnasketa arruntean, arnas-hartze bakoitzean sartzen den airearen bolumena litro erdikoa da, minutuko 20 aldiz arnas hartzen delarik. Inguruko tenperatura 25 °C eta hezetasun erlatiboa % 50koa direnean, eguneko zein ur-kantitate edan behar da biriketako ur-galera konpentsatzeko? Biriketatik pasatzean airea asetu egiten dela jo ezazu. Ur-lurrunaren asetasun-presioa 25 °C-tan, 23,8 mm Hg da, eta 36,5 °C-tan (giza-gorputzaren tenperatura), 33,7 mm Hg. Datuak: $R_a = 0,287 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$; egurats-presioa: 760 mm Hg.

Ebazpena: Biriken sarreran aireak daukan hezetasun espezifikoa:

$$\omega_1 = 0,622 \frac{0,50 \cdot 23,8}{(760 - 0,50 \cdot 23,8)} = 0,622 \cdot \frac{11,9}{(760 - 11,9)} = 9,8941 \frac{\text{g}}{\text{kg a.l.}}$$



$$\text{Irteerako hezetasun espezifikoa: } \omega_3 = 0,622 \cdot \frac{33,7}{(760 - 33,7)} = 28,8605 \frac{\text{g}}{\text{kg a.l.}}$$

$$\text{Egun batean arnasten den bolumena: } \dot{V}_1 = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \cdot 24 \cdot 60 = 14,4 \frac{\text{m}^3}{\text{egun}}$$

Egun batean arnasten den aire lehorraren masa totala:

9.- Aire hezea

$$\dot{m}_a = \frac{P_a \dot{V}_1}{R_a T_1} = \frac{(760 - 0,50 \cdot 23,8) \cdot \left(\frac{101,3}{760}\right) \cdot 14,4}{0,287 \cdot 298} = 16,7888 \frac{\text{kg a.l.}}{\text{egun}}$$

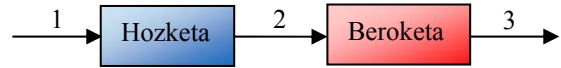
Horrela, egun batean gorputzak izaten duen ur-galera honako hau da:

$$\dot{m}_{v3} = \dot{m}_a \cdot (w_3 - w_1) = 16,7888 \cdot (0,0288605 - 0,0098941) = 0,3184 \frac{\text{kg ur}}{\text{egun}}$$

9.D- Hezetasun gehiegizko aire fluxua egokitzeko asmoz, fluxua hoztu egiten da, hezetasunaren zati bat kondentsatzen delarik. Jarraian, fluxua berotu egiten da 22 °C-ko azken temperaturaraino. Amaierako hezetasun erlatiboa % 50ekoa izatea nahi bada, zein temperaturaraino hoztu behar da aire-korrontea lehenengo fasean? Prozesu osoa 1 atm-ko presio konstantean gertatzen da.

Ebazpena: Tauletatik: $P_{s3}(22\text{ °C}) = 2,645\text{ kPa}$.

$$P_{v3} = 0,50 \cdot 2,645 = 1,3225\text{ kPa} .$$



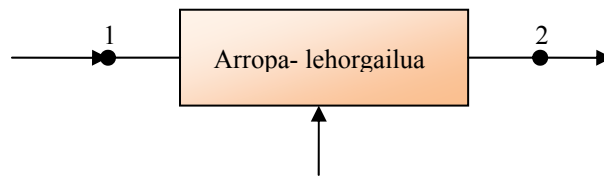
$$w_3 = 13,22798\text{ g/kg a.l.} = w_2 = w_s(T_2) .$$

$$P_s(T_2) = P_{v3} = 1,3225\text{ kPa} .$$

$$T_2 = 11 + \left(\frac{12 - 11}{1,402 - 1,312} \right) \cdot (1,3225 - 1,312) = 11,12\text{ °C} .$$

9.E- Arropa-lehorgailu batean % 65eko hezetasun erlatibodun airea 20 °C-tan sartzen da. Lehorgailutik 45 °C-ko temperaturan aire ase ateratzen bada, kalkula ezazu 40 minututan ur kilogramo bat lurruntzeko lehorgailutik igaro behar den aire lehorraren fluxua. Presio atmosferikoa 100 kPa-koa da.

Ebazpena: 1. puntuko datuak: $P_{v1} = 1,5204\text{ kPa} \rightarrow w_1 = 9,6026\text{ g/kg a.l.}$.



2. puntukoak: $P_{v2} = P_{s2} = 9,593\text{ kPa} \rightarrow w_2 = 65,9998\text{ g/kg aire lehor}$.

$$\dot{m}_{\text{ura}} = \dot{m}_{\text{al}} \cdot (w_2 - w_1) \rightarrow \dot{m}_{\text{al}} = \frac{\dot{m}_{\text{ura}}}{(w_2 - w_1)} = 7,388 \frac{\text{g aire lehor}}{\text{s}} = 0,4433 \frac{\text{kg aire lehor}}{\text{min}}$$

9.F- Hasieran, 1 kg/cm²-tan eta 16 °C-tan asetarik dagoen aire lehorraren eta ur-lurrunaren nahaste bat, 1,8 m³-ko bolumen konstantean berotzen da. Bukaerako temperatura 65 °C-koa bada, kalkulatu:

a) airearen eta ur-lurrunaren masak.

b) Bukaerako egoeraren hezetasun erlatiboa eta presio partzialak.

9.- Aire hezea

c) Sistemak xurgatutako beroa.

Datuak: $R_a = 0,287 \text{ kJ}/(\text{kg K})$; $R_v = 0,462 \text{ kJ}/(\text{kg K})$; $c_{pa} = 1 \text{ kJ}/(\text{kg K})$; $c_{pv} = 1,82 \text{ kJ}/(\text{kg K})$.

Ebazpena: Hasierako presioa: $P_1 = 1 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 0,98 \text{ bar}$.

$$\text{a) } w_1 = 0,622 \cdot \frac{P_{v1}}{(P - P_{v1})} = 0,622 \cdot \frac{0,01818}{(0,98 - 0,01818)} = 0,01175 \text{ kg ur-lurrun / kg aire lehor.}$$

$$\text{Ur-lurrunaren masa: } m_v = \frac{P_{v1}V}{R_v T_1} = 0,0245 \text{ kg ur-lurrun.}$$

$$\text{Aire lehorren presio partziala: } P_{a1} = P_1 - P_{v1} = 0,98 - 0,01818 = 0,961 \text{ bar.}$$

$$\text{Aire lehorren masa: } m_a = \frac{P_{a1}V}{R_a T_1} = 2,087 \text{ kg aire lehor.}$$

$$\text{b) Aire lehorren presio partziala 2. egoeran: } P_{a2} = \frac{m_a R_a T_2}{V} = 1,12095 \text{ bar.}$$

$$w_2 = w_1 = 0,622 \cdot \frac{P_{v2}}{P_{a2}} \rightarrow P_{v2} = 0,021 \text{ bar; } \phi = \frac{P_{v2}}{P_s(65 \text{ }^\circ\text{C})} = 0,08.$$

c) Bolumen konstanteko bilakaera sistema itxi batean: $Q = \Delta U$.

$$h_1 = T_1 + (2,501 + 1,82 \cdot T_1) \cdot w_1 = 95,77 \text{ kJ/kg aire lehor; } u_1 = h_1 - P_1 v_1.$$

$$h_2 = T_2 + (2,501 + 1,82 \cdot T_2) \cdot w_2 = 45,78 \text{ kJ/kg aire lehor; } u_2 = h_2 - P_2 v_2.$$

$$Q = m_a \cdot (h_2 - h_1) - (P_2 - P_1) \cdot V = 75 \text{ kJ.}$$

9.G- Ondo isolatuta eta egoera iraunkorrean dabilen konprimagailu batera aire hezea sartzen da $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ -ko emariarekin. Aire heze hori $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan eta $1,05 \text{ bar}$ -etan dago, eta % 85eko hezetasun erlatiboa dauka. Aire hezea $100 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan eta 2 bar -eko presiopean irteten bada, aurkitu:

a) airearen hezetasun erlatiboa konprimagailuaren irteeran.

b) Konprimagailuak kontsumitutako potentzia kW-tan.

Datuak: $R_a = 0,287 \text{ kJ}/(\text{kg K})$; $R_v = 0,462 \text{ kJ}/(\text{kg K})$.

Ebazpena: a) $P_{v1} = \phi_1 \cdot P_{s1}(20 \text{ }^\circ\text{C}) = 0,85 \cdot 2,3388 = 1,98798 \text{ kPa}$.

$$\omega_1 = 0,622 \cdot \frac{1,98798}{(105 - 1,98798)} = 0,01200368 \frac{\text{kg}}{\text{kg a.l.}}$$

9.- Aire hezea

$$\omega_2 = \omega_1 \rightarrow P_{v2} = \frac{w_2 \cdot P_2}{(w_2 + 0,622)} = 3,7866 \text{ kPa} .$$

$$\phi_2 = \frac{P_{v2}}{P_{s2}(100^\circ\text{C})} = \frac{3,786628}{101,32} = 0,03737 \rightarrow \% 3,74 .$$

$$\text{b) } v = \frac{(0,287 + 0,462 \cdot \omega_1) \cdot T_1}{P_1} = 0,8163418 \frac{\text{m}^3}{\text{kg a.l.}} .$$

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{V}_1}{v} = 0,36749 \frac{\text{kg a.l.}}{\text{s}} .$$

$$h_1 = T_1 + \omega_1 \cdot (2.501 + 1,82 \cdot T_1) = 50,4581 \frac{\text{kJ}}{\text{kg a.l.}} .$$

$$h_2 = T_2 + \omega_2 \cdot (2.501 + 1,82 \cdot T_2) = 132,2059 \frac{\text{kJ}}{\text{kg a.l.}} .$$

$$\dot{W} = -\dot{m} \cdot (h_2 - h_1) = -30,0417 \text{ kW} .$$

9.H- Arropa-lehorgailu batera airea 20 °C-tan eta % 70eko hezetasun erlatiboarekin sartzen da. Lehorgailutik 40 °C-ko aire asea ateratzen bada, kalkula ezazu 30 minututan ur kilogramo bat kentzeko behar den airearen masa-fluxua. Lehorte-prozesua presio atmosferikoan gertatzen da.

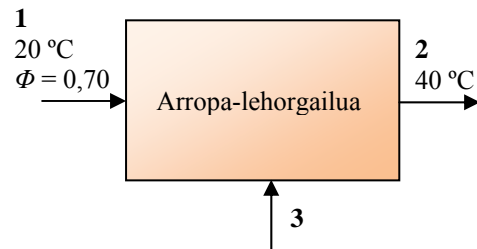
Ebazpena: Sarrerako hezetasun espezifikoa: $w_1 = 0,01022 \text{ kg/kg aire lehor} .$

Irteerakoa: $w_2 = 0,04889 \text{ kg/kg aire lehor} .$

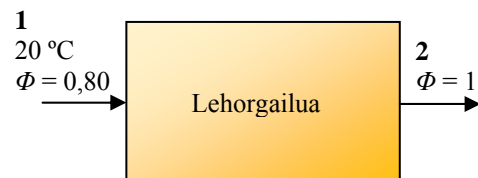
$w_3 = w_2 - w_1 = 0,03867 \text{ kg/kg aire lehor} .$

$$\frac{(1 + w_1)}{w_3} = 26,126 \text{ kg aire hezea/kg ur} .$$

$$\frac{26,126}{30 \cdot 60} = 0,01451 \text{ kg aire hezea/s} .$$



9.I- Lehorgailu batera airea 20 °C-ko tenperaturan eta % 80ko hezetasun erlatiboarekin sartzen da. Lehorgailuan airetik ur-kantitatearen laurdena kendu behar bada, kalkula ezazu airearen tenperatura lehorgailuaren irteeran. Lehorgailuan presioa 100 kPa da, eta konstante mantentzen da prozesuan zehar.



Ebazpena: $w_1 = 0,622 \cdot \frac{P_v}{(P - P_v)} = 0,0118 \text{ kg/kg aire lehor} .$

9.- Aire hezea

$$w_2 = \frac{3w_1}{4} = 0,0088 \text{ kg/kg aire lehor .}$$

$$2. \text{ puntuan aire asean dago: } 0,0088 = 0,622 \cdot \frac{P_{v2}}{(P - P_{v2})} \rightarrow P_{v2} = 0,014 \text{ bar .}$$

Presio hau asetasunezkoa izango da, baldin eta: $T = 12,1 \text{ }^\circ\text{C}$.

9.- Aire hezea

ARIKETAK EMAITZEKIN

9.1- 20 °C-ko temperaturan eta 101 kPa-eko presioan dagoen aireak % 70eko hezetasun erlatiboa du. Kalkula ezazu aire-masa horren hezetasun espezifikoa.

Emaitza: 0,01025 kg/kg a.l..

9.2- 25 °C-tan eta 101 kPa-eko presioan dagoen airerako kalkula itzazu:

a) hezetasun espezifikoa, hezetasun erlatiboa % 70ekoa baldin bada.

b) hezetasun erlatiboa, hezetasun espezifikoa 11,9 g/kg a.l. dela jakinik.

Emaitzak: a) 14 g/kg a.l.; b) 0,598.

9.3- 1 kg-ko aire hezeko masa baten hasierako egoeraren ezaugarriak honako hauek dira: 21 °C eta 1 atm. Aire horren hezetasun erlatiboa % 70ekoa da, eta isobarikoki 4,5 °C-taraino hoztu da. Aurki itzazu: a) hasierako hezetasun espezifikoa, b) ihintz-tenperatura, °C-tan eta c) kondentsatu den ur-kantitatea, kg-tan.

Emaitzak: a) 0,0109 kg/kg a.l.; b) 15,3 °C; c) 0,0056 kg.

9.4- Itsasmailan, aireak 25 °C-ko temperatura eta % 74ko hezetasun erlatiboa ditu. Eguratsean 1.000 m-ko igoera bakoitzeko temperatura linealki 6,5 °C jaisten dela emanik, kalkula ezazu hodeiak agertuko diren altuera. Igoeran zehar presio osoa konstantetzat har ezazu.

Emaitza: ≈ 769 m.

9.5- Gela heze eta beroetan, sarritan sareko ura garraiatzen duten hodietan kondentsazioa gertatzen da. Sareko uraren temperatura 10 °C eta gelakoa 24 °C badira, zein izan behar da hezetasun erlatiboaren balio maximoa hori ez gertatzeko?

Emaitza: % 41,14.

9.6- 35 m³-ko gordailu itxi eta zurrun baten barruan aire hezeko masa bat dugu 1,5 bar-etan eta 120 °C-tan. Hasieran $\phi = \% 10$ da. Aireak 22 °C-raino hoztuko dugu. Kalkula itzazu: a) hasierako egoeraren ihintz-tenperatura, °C-tan; b) kondentsazioa hasiko den temperatura; c) kondentsatuko den ur-masa, kg-tan; d) prozesuan askatutako beroa, kJ-tan.

Emaitzak: a) 59,9 °C; b) 56,1 °C; c) 3,147 kg; d) -10,6 MJ.

9.7- Aire hezea 150 m³/min-ko emariarekin sartzen da bero-trukagailu batera honako baldintzetan: 10 °C eta % 80ko hezetasun erlatiboa. Trukagailutik 30 °C-tan irteten da. Prozesuan zehar aireari ez zaio hezetasunik eman edo kendu, eta presioa 1 bar-eko balio konstantean mantentzen da. Aurki itzazu: a) denbora-unitatean elkarraldatutako beroa, kJ/min-tan; b) irteerako hezetasun erlatiboa.

Emaitzak: a) 3.698 kJ/min; b) 0,231.

9.8- Gela bateko anpulu lehorraren temperatura 20 °C-koa eta anpulu hezekoa 16 °C-koa direla adierazten digu psikrometro batek. Gelaren barruko presioa 1 bar baldin bada, eman itzazu hezetasun espezifikoa eta erlatiboa.

9.- Aire hezea

Emaitzak: 0,0099 kg/kg a.l.; 0,67.

9.9- Aire hezearen 280 m³/min-ko emaria 30 °C-tan eta % 50eko hezetasun erlatiboaz sartzen da lehorgailu batera. Aire hezea hozketa-hodibihurri batetik pasatzen da, lurrunaren zati bat bertan kondentsatzen delarik. Kondentsatutako ura aseturik irteten da lehorgailutik 10 °C-tan. Aire heze asean temperatura berean irteten da korrante banandu batean. Prozesuan zehar presioa konstante mantentzen da 1,013 bar-etan. Kalkulatu: a) aire lehorraren masa-fluxua, kg/min-tan; b) kondentsatzen den ur-masa aire lehor kg-ko; c) Elkarraldatutako beroa, kJ/min-tan.

Emaitzak: a) 319,3 kg/min; b) 0,00568 kg/kg a.l.; c) -11.033 kJ/min.

9.10- Lurrun-injekzioko hezegailu batera aire hezea sartzen da 22 °C-ko temperaturan eta 9 °C-ko anpulu hezearen temperaturaz. Aire lehorraren masa-fluxua 90 kg/min da. 110 °C-ko ur-lurruna aseturik injektatzen da 52 kg/h-ko eritmoaz. Prozesuan ez dago ingurunearekin bero-elkarraldaketarik, eta presioa 1 atm-koa da prozesu osoan zehar. Aurki itzazu irteerako a) hezetasun espezifikoa eta b) temperatura, °C-tan.

Emaitzak: a) 0,01159 kg/kg a.l.; b) 23,4°C.

9.11- Aire-korrante bat hozteko urez bustita dagoen zapi batean zehar pasazten dugu (lurrunketaren bidezko hozketa). Prozesuan ur-zati bat lurrunduko da, horretarako behar duen energia aire-korrontetik hartuz. Horren ondorioz, aire-fluxuaren irteerako temperatura baxuagoa izango da. Airea 38 °C-tan eta % 10eko hezetasun erlatiboaz sartzen da, 8.500 m³/h-ko emariaz; eta 21 °C-tan irteten da. Zapi bustiari ur likidoa 21 °C-tan gehitzen zaio, lurruntzen denaz hornitzeko. Presioa 1 atm-koa da. Kalkula itzazu: a) zapiari hornitu behar zaion ur-masaren fluxua, kg/h-tan eta b) irteerako airearen hezetasun erlatiboa.

Emaitzak: a) 66,96 kg/h; b) 0,713.

9.12- Prozesu batean bi aire-korrante nahasten dira. 142 m³/min-ko aire-korronteak 5 °C-ko temperatura eta 0,002 kg/kg a.l. hezetasun espezifikoa dauzka. 425 m³/min-ko beste korronteak 24 °C-ko temperatura eta % 50eko hezetasun erlatiboa ditu. Prozesuan zehar presioa 1 atm-koa da. Kalkula itzazu: a) nahastearen hezetasun espezifikoa eta b) temperatura, °C-tan.

Emaitzak: a) 0,00736 kg/kg a.l.; b) 19 °C.

9.13- Zentral termiko baten kondentsagailutik 38 °C-tan dagoen 4,5·10⁷ kg/h-ko ur-emaria ateratzen da hozketa-dorrerantz. Kondentsagailura 30 °C-ko ur-korrontea itzultzen da hasierako emari berdinarekin, 20 °C-ko ura gehitzen dugulako. Aire atmosferikoa 25 °C-tan eta % 35eko hezetasun erlatiboarekin sartzen da hozketa-dorrera, eta 35 °C-tan eta % 90eko hezetasun erlatiboarekin irteten da. Kalkula itzazu aire lehorraren eta berronitu beharreko uraren masa-fluxuak, kg/h-tan.

Emaitzak: 2,03·10⁷ kg a.l./h; 5,24·10⁵ kg/h.

9.14- Aire-masa jakin bat honako baldintzetan dago: 1 bar, 25 °C eta % 60ko hezetasun erlatiboa. Aire isotermikoki konprimitzen da uraren kondentsazioa hasi arte. Aurki ezazu airearen presioa, bar-etan, kondentsazioaren hasieran.

Emaitza: 1,67 bar.

9.15- 3 m³-ko gordailu itxi eta zurrin batean airea dago ezaugarri hauekin: 100 °C, 4,4 bar eta % 40ko hezetasun erlatiboa. Airea 20 °C-raino hozten bada, kalkula ezazu: a) kondentsazioa hasten den temperatura, °C-tan eta b) askatutako beroa, kJ-tan.

Emaitzak: a) 74,4 °C; b) -2,24 MJ.

9.- Aire hezea

9.16- Diagrama psikrometrikoa erabiliz, aurki itzazu:

- anpulu lehorreko eta hezeko temperaturak, 30 °C eta 20 °C badira, hezetasun erlatiboa, hezetasun espezifikoa eta entalpia espezifikoa.
- 20 °C-ko anpulu lehorreko temperatura eta % 60ko hezetasun erlatiboari dagozkien hezetasun espezifikoa, entalpia espezifikoa eta anpulu hezeko temperatura.
- Anpulu lehorreko eta hezeko 35 °C eta 26 °C-ko temperaturei dagokien ihintz-puntuko temperatura.

Emaitzak: a) % 40; 0,0108 kg/kg a.l.; 57,5 kJ/kg a.l.; b) 0,0088 kg/kg a.l.; 42,2 kJ/kg a.l.; 15 °C; c) 23 °C.

9.17- Bi aire-korronteen ezaugarriak honako hauek dira:

- korrontea: 13 °C, 1 atm, % 20ko hezetasun erlatiboa eta 18,4 m³/min.
- korrontea: 24 °C, 1 atm, % 80ko hezetasun erlatiboa eta 25,5 m³/min.

Bi korronteak adiabatikoki nahasten dira, presio osoa 1 atm-tan mantenduta. Irteerako nahasterako kalkulatu: a) hezetasun erlatiboa eta espezifikoa; b) bolumen espezifikoa.

Emaitzak: a) % 66,7; 9,3 g/kg a.l.; b) 0,8405 m³/kg a.l..

9.18- Aire-egokigailu batean gelako airea kanpokoarekin nahasten da. Kanpoko inguruetik aire hezea hartzen da honako ezaugarriekin: 30 °C eta % 50eko hezetasun erlatiboa. Kanpoko aire heze horren emaria hau da: 0,2 kg aire lehor segundoko. Gelatik hartzen den aire hezeak ezaugarri hauek ditu: 28 °C eta % 80ko hezetasun erlatiboa. Gelako aire-emaria hau da: 0,8 kg aire lehor segundoko.

- Kalkula ezazu kg/h-tan nahasteari kendu behar zaion ur-kantitatea, 25 °C eta % 60ko hezetasun erlatiboarekin irten dadin.
- Aurki ezazu prozesuan eman edo kendu behar den beroa ordu batean.

Emaitzak: a) 21,9 kg/h; b) 16.336 kcal.

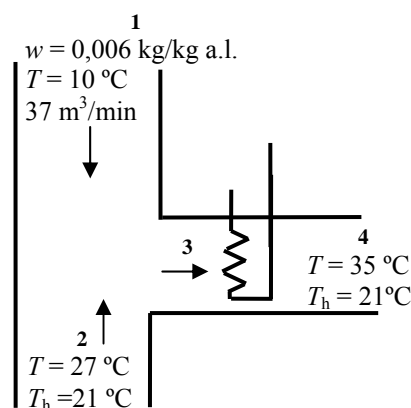
9.19- 34.100 litro/min-ko ur-emaria 29 °C-tik 20 °C-raino hozteko hozte-dorre erabiltzen da. Aire atmosferikoaren anpulu lehorren temperatura 21 °C da, anpulu hezearena 16 °C, eta bere presioa 756 mm Hg. Dorretik airea asetarik irteten da 27 °C-tan. Kalkula itzazu behar den airearen bolumen-emaria (m³/min-tan) eta berronitu behar den ura (kg/h-tan).

Emaitzak: 27.179 m³/min; 26.365 kg/h.

9.20- Irudian negurako aire-egokigailu baten zati bat erakusten da eskematikoki. Presio barometrikoa 760 mm Hg da. Aurkitu:

- beroketa-hodibihurrira sartzen den nahastearen T_3 temperatura.
- Hodibihurriak aireari beroa ematen dion erritmoa, kcal/h-tan.
- Egokigailutik irteten den bolumen emari osoa, m³/min-tan.
- Irteerako airearen hezetasun erlatiboa.

Emaitzak: a) 19,8 °C; b) 23.700 kcal/h; c) 94,6 m³/min; d) % 28,5.



9.- Aire hezea

9.21- Arropa-lehorgailu batera airea sartzen da honela: 25 °C eta % 60ko hezetasun erlatiboa. Aire 45 °C-tan irteten da lehorgailutik % 100ko hezetasun erlatiboarekin. Prozesua 100 kPa-eko presio atmosferiko konstantean gertatzen da.

- Kalkula ezazu ordu batean arropatik 3 kg ur ateratzeko behar den aire-bolumena, m³/h-tan.
- Aurki ezazu sistemari eman behar zaion beroa, kJ/h-tan, arropatik ateratako uraren entalpia mesprezaturik.

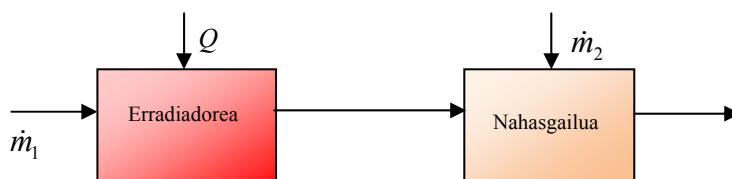
Airearen masa molekularra: 28,97 kg/kmol. Uraren masa molekularra: 18 kg/kmol. Aire hezearen entalpia espezifikoa: $h = 1 \cdot T + \omega(2.501 + 1,82 \cdot T)$ kJ/kg a.l., non T °C-tan dagoen.

Emaitzak: 48,5 m³/h; 8.885 kJ/h.

9.22- Hezegailu batera aire hezea sartzen da honako ezaugarriekin: 1 atm, 55 °C-ko anpulu lehorreko tenperatura eta 25 °C-ko anpulu hezeko tenperatura. Aire-korrontearen gainean 20 °C-tan dagoen ur likidoa birrintzen da, airearen irteerako tenperatura 40 °C-koa izan arte. Kalkula itzazu: a) hezetasun erlatiboak sarreran eta irteeran; b) gehitutako ur likidoa, kg/kg a.l.-tan.

Emaitzak: a) 0,084; 0,309; b) 0,006116 kg/kg a.l..

9.23- Kanpo-ingurutik minutuko 1.200 litro aire hartzen dira, 4 °C-tan eta % 70eko hezetasun erlatiboarekin. Aire erradiadore batean zehar pasarazten da 12 °C-raino berotuz.



- Erradiadoretik irtendakoan, kalkula itzazu airearen hezetasun espezifikoa eta hezetasun erlatiboa, eta baita aireari minutuko emandako beroa ere.
- Ondoren, beste fluxu batekin nahasten da. Fluxu berria 20 °C-tan aseturik dago, eta bere bolumen-emia 2.400 litro/min-koa da. Kalkula ezazu nahastearen amaierako tenperatura.

Presioa une oro 1 atm da. Aire lehorren gas-konstantea: 0,287 kJ/(kg·K).

Emaitzak: 3,51 g/kg aire lehorra; % 40,6; 2,9 kcal/min; 17,2 °C.

9.24- Aire atmosferikoa (0,1 MPa, 32 °C eta % 75eko hezetasun erlatiboa) konprimagailu batera sartzen da 2,8 m³/min-ko emariarekin. Aire 0,694 MPa-etan eta 204 °C-tan irteten da konprimagailutik. Ondoren, hozketa-hodibihurrietatik pasatzen da, bertan presio konstantez hoztu eta 38 °C-tan aseturik ateratzen delarik. Kondentsatua ere 38 °C-tan irteten da. Konprimagailuak 844 kJ/min-ko bero-fluxua askatzen du ingurura. Kalkula itzazu:

- konprimagailuak behar duen potentzia, kJ/min-tan.
- Likido kondentsatuaren masa-fluxua, kg/min-tan.
- Aire hezeak hodibihurrietako hozgarriari askatutako beroa, kJ/min-tan.

Emaitzak: a) -1.397 kJ/min; b) 0,0525 kg/min; c) -660 kJ/min.

9.- Aire hezea

9.25- Aire egokitzeko gailu batek aire hezea hartzen du honako ezaugarriekin: $50 \text{ m}^3/\text{min}$ -ko emaria, $28 \text{ }^\circ\text{C}$, 1 bar eta % 70eko hezetasun erlatiboa. Lehendabizi, aire hezea hozketarako hodibihurri batetik pasatzen da, eta horren ondorioz, lurrunaren zati bat kondentsatzen da. Aire asea eta kondentsatua aparteko korranteetan ateratzen dira, biak tenperatura berean. Aire, orduan, beroketa-gune batetik pasatzen da, eta amaieran baldintza hauetan ateratzen da: $24 \text{ }^\circ\text{C}$, 1 bar eta % 40ko hezetasun erlatiboa. Kalkula itzazu:

- Hodibihurrietatik irteteen airea dagoen tenperatura.
- Uraren kondentsazio-abiadura, kg/min -tan.
- Aire hezeak hodibihurrian askatutako beroa, kJ/min -tan.
- Beroketa-gunean aireak xurgatzen duen beroa, kJ/min -tan.

Emaitzak: a) $9,6 \text{ }^\circ\text{C}$; b) $0,53 \text{ kg}/\text{min}$; c) $-2.385 \text{ kJ}/\text{min}$; d) $823 \text{ kJ}/\text{min}$.

9.26- Gela batera aire hezea $16 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan sartzen da, eta $27 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan ateratzen da % 50eko hezetasun erlatiboarekin. Barruan dauden pertsonen gelako aireari hezetasuna gehitzen diote $4,5 \text{ kg}/\text{h}$ -ko erritmoarekin. Hezetasun hori $33 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan dagoen lurrun asea dela jo daiteke. Bestelako bero-iturri guztiek $34.000 \text{ kJ}/\text{h}$ -ko abiaduraz transferitzen dute beroa gelara. Presioa konstante mantentzen da 1 atm-tan. Sartzen den aire hezerako, kalkula itzazu hezetasun espezifikoa, hezetasun erlatiboa eta emaria, m^3/min -tan.

Emaitzak: $0,00967$; % $85,3$; $42,1 \text{ m}^3/\text{min}$.

9.27- Zentral termiko baten kondentsagailuko ura hozte-dorre batera sartzen da, $40 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan eta $10.000 \text{ kg}/\text{s}$ -ko masa-fluxuarekin. $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -raino hoztutako ura fluxu berdinez itzultzen da kondentsagailura. Dorrera airea $25 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan eta % 35eko hezetasun erlatiboarekin sartzen da, $35 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan eta % 90eko hezetasun erlatiboaz irteten delarik. Gehitzen den berrornitze-ura $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan dago. Kalkula itzazu: a) sartzen den aire atmosferikoaren masa-fluxua, kg/s -tan; b) gehitutako ura, kg/s -tan.

Emaitzak: a) $11.337 \text{ kg}/\text{s}$; b) $291 \text{ kg}/\text{s}$.

9.28- Hozketa-dorre batera ura $40 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan sartu, eta $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan ateratzen da. Dorrera $14.200 \text{ m}^3/\text{min}$ -ko aire-emaria sartzen da eguratsetik honako baldintzetan: 101 kPa, $20 \text{ }^\circ\text{C}$ eta % 40ko hezetasun erlatiboa. Dorretik airea $35 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan eta % 95eko hezetasun erlatiboarekin ateratzen da. Kalkuluetan erabili beharreko datuak: $R_{\text{aire}} = 0,287 \text{ kJ}/(\text{kg K})$; $R_{\text{lurrun}} = 0,462 \text{ kJ}/(\text{kg K})$. Kalkula itzazu:

- dorretik pasatzen den aire lehorraren masa-fluxua, $\text{kg a. l.}/\text{min}$ -tan.
- Sartzen den uraren bolumen-emaria, litr/min -tan (berrornitzen den uraren entalpia mespreza ezazu).
- Berrornitu behar den ur-kantitatea, litr/min -tan.

Emaitzak: a) $16.897,34 \text{ kg a.l.}/\text{min}$; b) $17.567,47/18.096 \text{ l}/\text{min}$; c) $489,20 \text{ l}/\text{min}$.

9.29- Enbolodun ontzi itxi batean aire-masa bat daukagu. Airearen hasierako ezaugarriak hauek dira: 1 atm, $20 \text{ }^\circ\text{C}$ eta % 70eko hezetasun erlatiboa. Aire isotermikoki konprimitzen da kondentsazioa hasi arte. Zein da aire lehorraren presio partziala egoera horretan? Ondoren, ur-masaren erdia kondentsatu arte isotermikoki konprimitzen da. Zein da prozesu horren amaieran aire lehorraren presio partziala?

Emaitzak: $1,424 \text{ bar}$; $2,8475 \text{ bar}$.

9.- Aire hezea

9.30- 3 m³/s-ko aire-emaria konprimagailu adiabatiko batera sartzen da. Konprimagailu-gelan dagoen airearen ezaugarriak hauek dira: 1 bar, 34 °C eta % 80ko hezetasun erlatiboa. Aire % 15ko hezetasun erlatiboarekin ateratzen da konprimagailutik. Konprimagailuak 150 kW-ko potentzia kontsumitzen du.

a) Zein presio eta tenperaturatan ateratzen da airea konprimagailutik?

Ondoren, airea hozketa-hodibihurrietatik pasatzen da, bertatik 20 °C-tan ateratzen delarik (ur kondentsatua ere 20 °C-tan ateratzen da).

b) Zein da ur kondentsatuaren masa-emaria, g/s-tan? Zein bero-kantitate askatzen du aire hezeak hozketa-hodibihurrian, kW-tan?

Emaitzak: a) 1,532 bar; 77,8 °C; b) 58,78 g/s; -341,9 kW.

9.31- Adieraz ezazu ea ondoko baieztapenak egiazkoak ala gezurrezkoak diren:

Presio konstantepean dagoen aire-masa baten ihintz-puntua...

a) hezetasun erlatibo berdineko asetasun-egoerari dagokio.

b) hezetasun espezifikiko berdineko asetasun-egoerari dagokio.

c) lurrunaren presio partzial berdineko asetasun-egoerari dagokio.

Emaitzak: a) Gezurra; b) Egia; c) Egia.

9.32- Negurako aire-girogailu batera airea sartzen da 10 °C-tan eta % 40ko hezetasun erlatiboarekin. Hasieran, airea berogailu batetik pasatzen da. Ondoren, hezegailu adiabatiko batetik, asetu arte. Eta jarraian, beste berogailu batetik pasatzen da, 25 °C eta % 60ko hezetasun erlatiboa lortu arte. Kalkula itzazu:

a) lehenengo beroketaren ondorengo tenperatura.

b) Beroketa bietan emandako beroa.

c) Hornitu beharreko ur-masa, aire atmosferikoaren m³ bakoitzeko.

Emaitzak: a) 39,0 °C; b) 37,66 kJ/kg a.l.; c) 11 g ur/m³.

9.33- Neguko egun hotz batean, gela bateko hormaren barne-gainazala 16 °C-tan dago, eta gelaren airea, 23 °C-tan. Zein da aireak izan dezakeen hezetasun erlatibo maximoa, horman uraren kondentsaziorik gerta ez dadin?

Emaitza: % 64,7.

9.34- Orduko 3.000 m³ aire atmosferikoa sartzen da bero-trukagailu batera (1 atm, 35 °C eta % 10ko hezetasun erlatiboa). Kontrako noranzkoan 7.000 kg/h-ko emariarekin doan hozketarako urak 3 °C-ko igoera termikoa jasaten du.

a) Zein tenperaturatan eta hezetasun erlatibotan ateratzen da airea?

Ondoren, airea isotermikoki konprimitzen da 4 atm-ko presioraino.

b) Zein ur-emari kondentsatuko da, kg/h-tan?

9.- Aire hezea

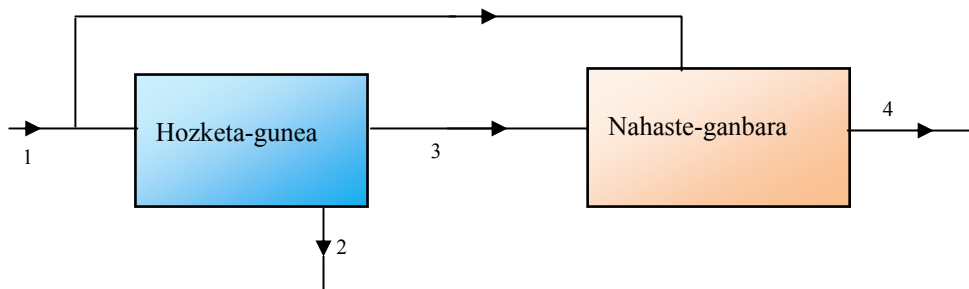
Airearen konstantea: $R = 0,287 \text{ kJ}/(\text{kg K})$; $c_p(\text{aire}) = 1 \text{ kJ}/(\text{kg K})$; $c_p(\text{ur-lurrin}) = 1,82 \text{ kJ}/(\text{kg K})$.

Emaidzak: a) $9,45 \text{ }^\circ\text{C}$; % 47,5; b) $5,64 \text{ kg ur/h}$.

9.35- Aire-fluxu bat hartzen da honako ezaugarriekin: $24 \text{ }^\circ\text{C}$, 100 kPa eta % 70eko hezetasun erlatiboa. Aire-fluxu horren herena hozketa-gune batetik igarotzen da (ikus beheko irudia). Hozketa-gunean ura kondentsatzen da. Bertatik kondentsatutako ura eta airea $6 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan irteten dira. Ondoren, hoztu den aire-masa hori gainerako bi herenekin nahasten da adiabatikoki. Presio osoa konstante mantentzen da prozesuan. Kalkula itzazu:

a) hozketa-gunean kondentsatzen den ur-masa eta bertan elkaraldatutako beroa 1 sarrerako aire lehorren masa-unitateko.

b) Sistemaren irteeran, tenperatura eta hezetasun erlatiboa.



Emaidzak: a) $2,468 \text{ g/kg a. l.}$; $-12,34 \text{ kJ/kg a. l.}$; b) $17,9 \text{ }^\circ\text{C}$; % 82,73.

9.36- Aire masa bat 1 atm -tan, $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan eta % 60ko hezetasun erlatiboan dago.

a) Isotermikoki konprimitzen dugu asetu arte. Zein da aire lehorren presio partziala puntu horretan?

b) Isotermikoki konprimitzen jarraitzen dugu, ur-masaren erdia kondentsatu arte. Zein da aire lehorren presio partziala orain?

Emaidzak: a) $1,665 \text{ bar}$; b) $3,330 \text{ bar}$.

9.37- (2002/09) Ura $40 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan sartzen da hozketa-dorre batera, eta $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan ateratzen da. Dorrera $14.200 \text{ m}^3/\text{min}$ -ko aire atmosferikoaren fluxua sartzen da (101 kPa , $20 \text{ }^\circ\text{C}$ eta % 40ko hezetasun erlatiboa). Airea $35 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan eta % 95eko hezetasun erlatiboaz ateratzen da. Kalkula itzazu:

a) dorretik pasatzen den aire lehorren masa-fluxua, kg/min -tan.

b) Hozten den uraren bolumen-emaria, litro/min -tan (berrornitzen den uraren entalpia mespreza ezazu).

c) Berrornitu behar den ur-kantitatea, litro/min -tan.

Datua: $R_{\text{aire}} = 0,287 \text{ kJ}/(\text{kg K})$.

Emaidzak:

9.38- (2003/09) Klima lehorretan airea hoztu daiteke energia gutxi gastatuta. Horretarako, airea ur-tanta finen artean pasaratzen da. Tanten gainazal askea handia denez, uraren lurrunketa gertatzen da, eta horrela, airea hozten da. Sarreran airea $36 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan dago eta bere hezetasuna % 20koa da. Airearen presio berdina (1 atm)

9.- Aire hezea

duelarik ateratzen da, eta bukaeran bere hezetasun espezifikoa $\omega = 1,4 \cdot 10^{-2}$ kg/kg a.l. da. Ur-tanten entalpia mesprezatu, kalkulatu airearen bukaerako tenperatura.

Emaidzak:

9.39- (2006/02) Ilea garbitu duzu, eta gela batean lehortzen ari zara. Gelaren tenperatura 23 °C-koa da, eta bere hezetasun erlatiboa $\phi = 0,6$ da (1. egoera). 500 W-ko lehorgailuak airea 50 °C-ra berotzen du (2. egoera), eta ondoren zure iletatik pasaratzen du, 30 °C-tan eta aseturik irteten delarik (3. egoera). Aireak jarioan jarraitzen du leihoaren kontra jo arte, bertan 15 °C-ko tenperaturara arte hozten delarik (4. egoera). Kalkula itzazu:

2. egoerako hezetasun erlatiboa.
- Bero-transferentzia lehorgailuan aire lehorraren kilogramoko.
- Aire lehorraren masa-emia.
- Leihoan kondentsatzen den ur-masa.

Emaidzak:

9.40- Tiro-naturaleko hozte-dorre batera airea 1,013 baretan, 13 °C-tan eta % 50eko hezetasun espezifikoarekin sartzen da. Turbinaren kondentsagailuetatik datorren ura 60 °C-tan birrintzen da dorrearen barruan, 22,5 kg/s-ko erritmoarekin, 27 °C-tan jasotzen delarik. Birjarpen-ura ere 27 °C-tan dago. 38 °C-ko airea asea ateratzen da dorretik. Datuak: $R_a = 0,287$ kJ/(kg K); $R_v = 0,462$ kJ/(kg K). Kalkulatu:

- behar den sarrerako airearen bolumen-emia m^3/s -tan.
- Birjarpenerako behar den ura, kg/s-tan.

Emaidzak: a) 20,87 m^3/s ; b) 1 kg/s.

9.41- Aire hezezeko korrante bat 25 °C-tan eta 1 bar-etan dago. Baldintza horietan, bere hezetasun erlatiboa % 50koa da.

- Kalkula bitez hezetasun espezifikoa, ihintz-tenperatura eta bolumen espezifikoa.

Erresistentzia elektriko baten bidez, aire-fluxu hori 35 °C-ko tenperaturaraino berotzen da.

- 10 m^3/min -ko aire hezezeko fluxua berotu nahi bada, kalkula bedi erresistentzia elektrikoak kontsumitu beharreko potentzia.
- Kalkulatu, halaber, amaierako hezetasun erlatiboa eta espezifikoa.

Datuak: $R_a = 0,287$ kJ/(kg K); $R_v = 0,462$ kJ/(kg K).

Emaidzak: a) $\omega_1 = 0,00992$ kg/kg a.l.; $T_R = 13,73$ °C; $v_1 = 0,8699$ m^3/kg a.l.; b) 1,954 kW; c) $\omega_2 = \omega_1$; $\phi_2 = \% 28,2$.

9.42- Egun bero eta lehor batean, Tuteran honako datu meteorologikoak jaso ziren: tenperatura 40 °C, presioa 705 mm Hg, airearen hezetasun erlatiboa % 30. Kalkulatu:

- airearen hezetasun espezifikoa.

9.- Aire hezea

- b) Ihintz-tenperatura.
- c) Asetasun adiabatikoko tenperatura.
- d) Airearen 1 m^3 batean kanporatu behar den beroa, ihintz-tenperaturara ailegatzeko.
- e) Airearen 1 m^3 batean sartu behar den ura, asetahun adiabatikoko tenperaturara ailegatzeko.

Emaitzak: a) $0,015 \text{ kg/kg}$ a. l.; b) $18,5 \text{ }^\circ\text{C}$; c) $23,5 \text{ }^\circ\text{C}$; d) 24 kJ/m^3 ; e) 6 g/m^3 .

9.43- Aire-masa baten hasierako egoeran honako ezaugarriak ditu: 1 atm , $35 \text{ }^\circ\text{C}$ eta % 80ko hezetahun erlatiboa. Aire-masa hori presio konstantez hozten da bere ur-lurrunaren masaren erdia kondentsatu arte.

- a) Kalkulatu amaierako tenperatura.
- b) Ur kondentsatua kendu eta gero, airea bolumen konstantez hasierako tenperaturaraino berotzen badugu, kalkulatu amaierako hezetahun erlatiboa eta presio osoa.

Emaitzak: a) $19,74 \text{ }^\circ\text{C}$; b) % 43,04; $106,58 \text{ kPa}$.

9.44- (2006/09) Zinema baten bolumena 1.000 m^3 -koa da. Filmaren proiektzioa hasi baino lehen, kaletik hartutako airea dago zineman honako baldintzetan: $20 \text{ }^\circ\text{C}$ eta % 55eko hezetahun erlatiboa (A). Proiektzioa bukatu eta gero, ikusleen arnasa dela eta, airea $30 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan eta % 65eko hezetahun erlatiboarekin dago (B). Prozesuan zehar presioa konstantea mantentzen da eguratsaren balioan (1 atm). Aretoaren barruan dagoen aire lehorraren masa konstantea dela suposatuz, kalkulatu:

- a) Ikusleek aireari emandako ur-kantitatea.
- b) Ikusleek aireari emandako beroa (KONTUZ GALDERA HONEKIN!, ZEIN DA ARNASAREKIN EMANDAKO URAREN ENTALPIA?).

Emaitzak:

9.45- Hasieran, 1 kg/cm^2 -tan eta $16 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan asetarik dagoen aire lehorraren eta ur-lurrunaren nahaste bat, $1,8 \text{ m}^3$ -ko bolumen konstantean berotzen da. Bukaerako tenperatura $65 \text{ }^\circ\text{C}$ bada, kalkulatu:

- a) airearen eta ur-lurrunaren masak.
- b) Bukaerako egoeraren hezetahun erlatiboa eta presio partzialak.
- c) Sistemak xurgatutako beroa.

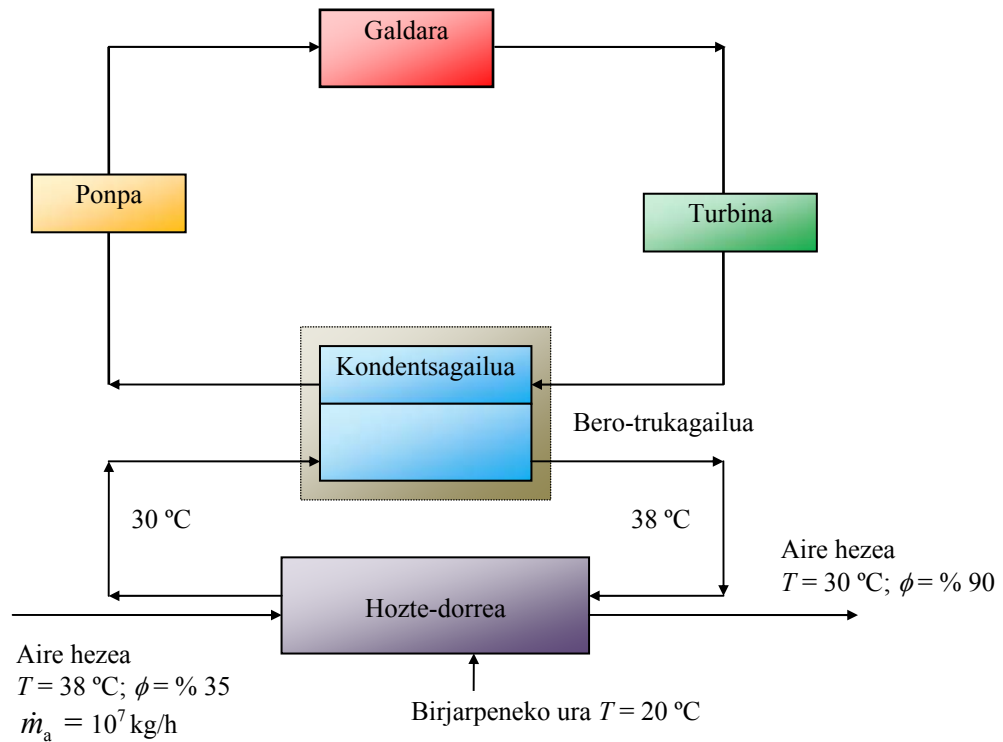
Ur asearen ezaugarriak										
$T(^\circ\text{C})$	$P(\text{bar})$	$v_f(\text{m}^3/\text{kg})$	$v_g(\text{m}^3/\text{kg})$	$u_f(\text{kJ/kg})$	$u_g(\text{kJ/kg})$	$h_f(\text{kJ/kg})$	$h_g(\text{kJ/kg})$	$s_f(\text{kJ/kg K})$	$s_g(\text{kJ/kg K})$	$T(^\circ\text{C})$
0	0,00611	0,001000	206,136	0,00	2375,3	0,01	2501,4	0,0000	9,1562	0
16	0,01818	0,001001	73,333	67,18	2397,4	67,19	2530,8	0,2390	8,7582	16
40	0,07384	0,001008	19,523	167,56	2430,1	167,57	2406,7	0,5725	8,2570	40
65	0,2503	0,001020	6,197	272,02	2463,1	272,06	2618,3	0,8935	7,8310	65
80	0,4739	0,001029	3,407	334,86	2482,2	334,91	2643,7	1,0753	7,6122	80

Emaitzak: a) $m_a = 2,08731 \text{ kg}$; $m_v = 0,02451 \text{ kg}$; b) % 8,4; $P_v = 2,126 \text{ kPa}$; $P_a = 112,490 \text{ kPa}$; c) $74,56 \text{ kJ}$.

9.- Aire hezea

9.46- Beheko irudian Rankine ziklo bat ageri da, bere hozte-zikloarekin batera. Galdaratik ur-lurrun gainberotua ateratzen da, 8 MPa-etan eta 480 °C-tan. Kondentsagailuaren presioa 8 kPa da. Turbina eta ponparen etekin isoentropikoa % 88 da. Prozesu guztietan ez hartu kontutan energia zinetikoa eta potentzialaren aldaketarik. Gainera, ingurunerako bero-transferentziak arbuigarriak dira elementu guztietan (turbina, ponpa, bero-trukagailua eta hozketa-dorrea). Hozketa ziklo osoan presioa konstante mantentzen da 1 bar-ean. Ur likidorako $c = 4,19 \text{ kJ/(K kg)}$ eta $c_p = 1,005 \text{ kJ/(K kg)}$. Irudian ageri diren beste datuak kontutan hartuz, kalkulatu:

- hozketa-zikloan dabilen emari masikoa.
- Titulua turbinaren irteeran.
- Potentzia-zikloaren lan espezifikoa ponparen lana kontutan hartuta.
- Entropia espezifikokoaren aldaketa ponpan eta turbinan.
- Potentzia-ziklotik igarotzen den emari masikoa, eta garatzen duen potentzia netoa.



Emaitzak: a) $4,783 \cdot 10^6 \text{ kg/h}$; b) 0,8572; c) 1.104,53 kJ/kg; d) $\Delta s_{\text{turbina}} = 0,4823 \text{ kJ/(kg K)}$; $\Delta s_{\text{ponpa}} =$ e) .

9.47- Bero-trukagailu batera, 3.000 m^3 aire atmosferiko sartzen dira orduko, 1 atm-tan, 35 °C-tan eta % 10ko hezetasun erlatiboarekin. Kontrako noranzkoan eta 7.000 kg/h-ko emariarekin doan hozketarako urak 3 °C-ko iguera termikoa jasaten du.

- Zein tenperaturan eta hezetasun erlatibotan ateratzen da airea?

Ondoren, airea isotermikoki konprimitzen da 4 atm-ko presioraino;

- Zein ur-emari kondentsatuko da , kg/h-tan?

9.- Aire hezea

Datuak: $R_{\text{airea}} = 0,287 \text{ kJ}/(\text{kg K})$; $R_{\text{ura}} = 0,462 \text{ kJ}/(\text{kg K})$; $c_p(\text{airea}) = 1 \text{ kJ}/(\text{kg K})$; $c_p(\text{ur-lurrina}) = 1,82 \text{ kJ}/(\text{kg K})$; $c(\text{ur-likidoa}) = 4,187 \text{ kJ}/(\text{kg K})$.

Emaitzak: a) $9,4 \text{ }^\circ\text{C}$; % 47,57; b) 5,560 kg/h.

9.48- Zinema baten bolumena 1.000 m^3 -koa da, eta kaleko airez beteta dago. Hasierako aire horren datuak honako hauek dira (A): $T_{\text{a.l.}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ eta $T_{\text{a.h.}} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$. Pelikularen proiektzioan airearen egoera aldatzen da jendearen eraginez (B): $T_{\text{a.l.}} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ eta $\phi = 0,65$.

a) Kalkulatu hasierako (A) eta amaierako (B) airearen ezaugarri fisikoak.

b) Kalkulatu airearen entalpia-aldaketa eta hezetasun absolutuaren handipena. Lortu, baita ere, aireak jasotako beroa eta ura, unitateak era egokian adieraziz.

c) (B) airea, (A) ezaugarriak dituen kaleko airearekin nahastu nahi dugu, nahasketaren ondorioz, lortutako aireak (C) $T_{\text{a.l.}} = 22 \text{ }^\circ\text{C}$ izateko. Horretarako, kaleko zenbat aire behar dugu?

Bete beheko taula lortutako emaitzekin.

Ezaugarri fisikoa	Hasierako airea (A)	Aire hezaturia (B)	Aire nahasketa (C)	Unitatea
Anpulu lehorraren tenperatura	20	30	22	$^\circ\text{C}$
Hezetasun absolutua				kg/kg a.l.
Hezetasun erlatiboa		65		%
Ihantz-tenperatura				$^\circ\text{C}$
Anpulu hezearen tenperatura	15			$^\circ\text{C}$
Entalpia				kJ/kg a. l.
Bolumen espezifikoa				m^3/kg
Bolumena				m^3
Aire hezearen masa				kg

Emaitzak:

9.49- Egoera egonkorreko prozesu batean, $42 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan, 1 atm-tan eta % 30ko hezetasun erlatiboa dituen aire korrantea, 1 atm-ko presioan sartzen den bigarren korrante batekin adiabatikoki nahasten da. Bi korranteen aire-lehorraren emari masikoak berdinak dira. Nahasketaren emaitza den korrantea $29 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan, 1 atm-tan eta % 40ko hezetasun erlatiboarekin ateratzen da. Kalkulatu bigarren aire-korranterako:

a) hezetasun erlatiboa.

9.- Aire hezea

b) Tenperatura °C-tan.

c) Nahasketaren emari bolumetrikoa $2 \text{ m}^3/\text{s}$ -koa bada, kalkulatu bigarren korrontearen aire lehorraren masa-emaria.


Emaitzak: a) % 40,74; b) 15,74 °C; c) 1,1503 kg a. l/s.

9.- Aire hezea

OINARRIZKO EKUAZIOAK

1) Eroankortasun termikoaren Fourier-en ekuazioa (dimentsio bakar batean): $\dot{Q} = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx}$.

Bero-fluxu iraunkorra, L luzerako eta sekzio uniformeko elementu batean ($\Delta T = (T_2 - T_1) > 0$):

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{\left(\frac{L}{k \cdot A}\right)} = \frac{\Delta T}{R}$$


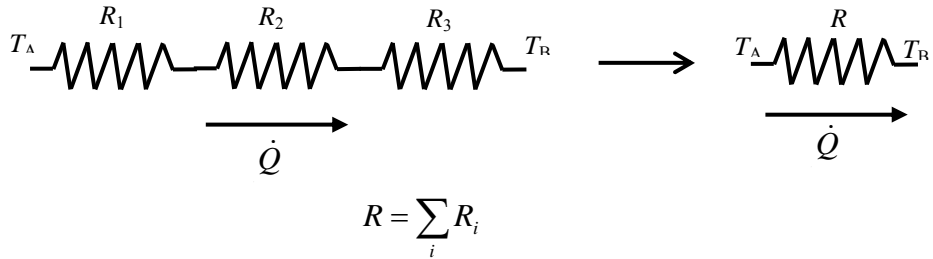
Erresistentzia termikoa L luzerako eta sekzio uniformeko elementu batean:

$$R \left[\frac{\text{K}}{\text{W}} \right] = \frac{L}{k \cdot A}$$

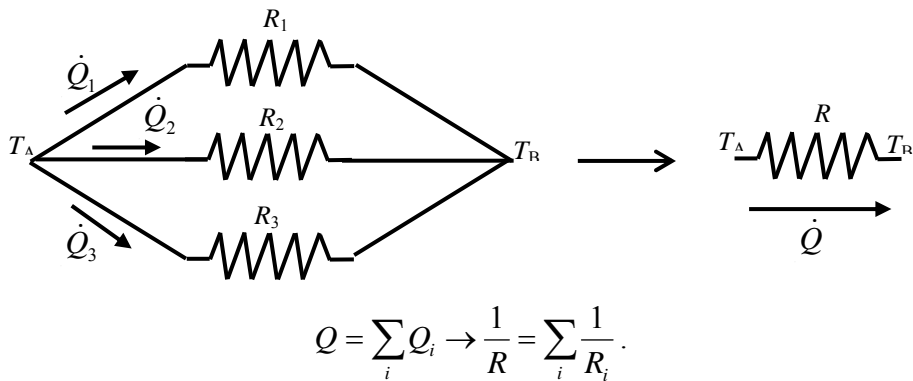
Transmitantzia: $\dot{Q} = U \cdot A \cdot \Delta T \rightarrow U \left[\frac{\text{W}}{\text{K m}^2} \right] = \frac{1}{R \cdot A}$.

2) Erresistentzia termikoen elkarketak, erresistentzia baliokidea:

- Seriean:



- Paraleloan:

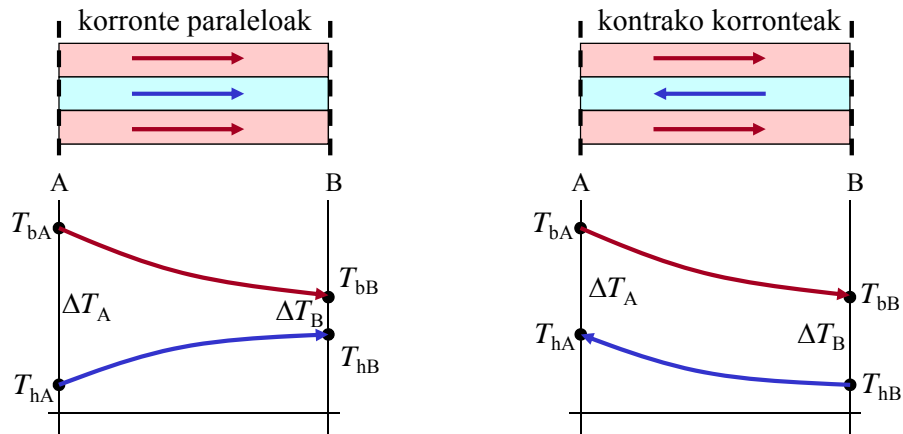


10.- Bero-transmisioa

3) Konbekzioaren bidezko bero-fluxua: $\dot{Q} = h \cdot A \cdot \Delta T = \frac{\Delta T}{\left(\frac{1}{h \cdot A}\right)}$.

Konbekzioak sortutako erresistentzia termikoa: $R \left[\frac{\text{K}}{\text{W}} \right] = \frac{1}{h \cdot A}$.

4) Bero-trukagailuak:



Bi korronteen arteko bero-fluxua: $\dot{Q} = U \cdot A \cdot \Delta T$.

Batezbesteko tenperatura-diferentzia logaritmikoa: $\Delta T = \frac{\Delta T_A - \Delta T_B}{\ln(\Delta T_A / \Delta T_B)}$.

5) Stefan-Boltzmann-en legea erradiaziorako.

Emitantzia erradiatzailea: $R \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$.

Stefan-Boltzmannn-en konstantea: $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}$.

Bi gorputzen arteko energia-igorpena: $\dot{Q} = F_E \cdot F_A \cdot A \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4)$.

EBATZITAKO ARIKETAK

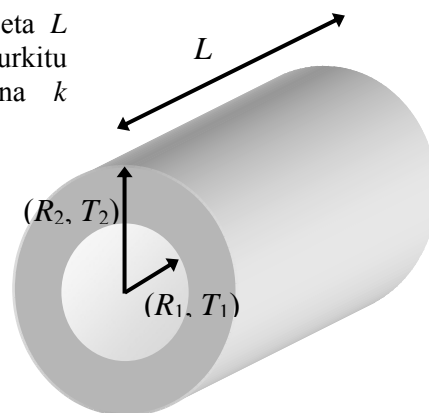
10.A- Bi gainazal zilindriko ardazkide, R_1 eta R_2 erradiodun eta L luzeradunak, T_1 eta T_2 tenperaturetan daude, hurrenez hurren. Aurkitu haien arteko kondukziozko bero-fluxu erradialaren adierazpena k eroankortasun termikoa duen material batean zehar.

Ebazpena: $\dot{Q} = -k \cdot (2\pi r L) \cdot \frac{dT}{dr}$.

$$\dot{Q} \cdot \int_{R_1}^{R_2} \frac{dr}{r} = -(2\pi k L) \cdot \int_{T_1}^{T_2} dT$$

$$\dot{Q} \cdot \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right) = 2\pi k L \cdot (T_1 - T_2)$$

$$\dot{Q} = \frac{2\pi k L \cdot (T_1 - T_2)}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}$$



10.B- Oinarri karratuko hozkailu batek $1 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$ dimentsioak ditu. Barruko tenperatura $-5 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan mantentzen da, eta ingurua $35 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan dago. Kalkula ezazu hozkailuaren barruko alderako bero-korronte maximoa, atea, 3 hormak eta goiko aldea hurrengo materialez eginda badaude:

5 mm plastikoa, $k = 1 \text{ W}/(\text{m K})$.

15 mm isolatzailea, $k = 0,05 \text{ W}/(\text{m K})$.

2 mm altzairua, $k = 40 \text{ W}/(\text{m K})$.

Barruan zein kanpoan konbekzio-koefizientea $8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ da. Azpitik ez da berorik sartzen.

Ebazpena: Kanpo-azalera: $A = 4 (1 \cdot 0,5) + 1 (0,5 \cdot 0,5) = 2,25 \text{ m}^2$.

Erresistentzia termikoa: $R = \frac{1}{hA} + \frac{L_1}{K_1 A} + \frac{L_2}{K_2 A} + \frac{L_3}{K_3 A} + \frac{1}{hA} = 0,24669 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$.

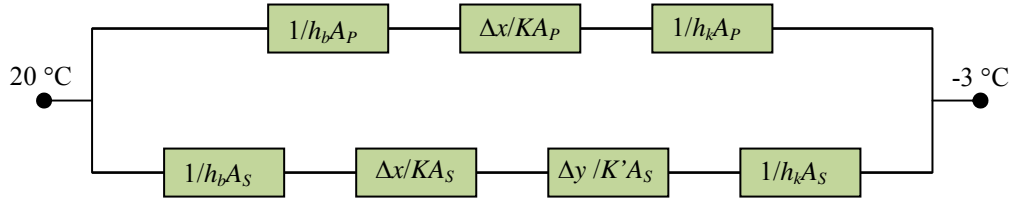
$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R} = \frac{(35 - (-5))}{0,24669} = 162,148 \text{ W}$$

10.C- Egurrezko etxola baten sabaiaren eta hiru pareten lodiera 10 cm -koa da. Egurrezko su batek barruko tenperatura $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan mantentzen du, kanpoko tenperatura $-3 \text{ }^\circ\text{C}$ delarik. Bat batean elurra hasi da. Kanpoko tenperatura $0 \text{ }^\circ\text{C}$ -raino igo da, eta barruan, $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -ko tenperatura berbera mantentzeko, elurretan hasi aurreko egurraren $\frac{3}{4}$ erre behar dela behatu da. Sabaiaren azalera paretenaren herena da, eta elurra sabaian geratu da soilik. Egurraren eroankortasun termikoa $0,13 \text{ kcal}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{h})$ da eta elurrarena $0,4 \text{ kcal}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{h})$. Barruko konbekzio-koefizientea $12 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ da, eta kanpoko $30 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Kalkulatu pilatutako elur-lodiera.

10.- Bero-transmisioa

Ebazpena:

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T_1}{R_1} \quad (1)$$



$$R_1 = \left(\frac{1}{h_b A_T} + \frac{\Delta x}{K A_T} + \frac{1}{h_k A_T} \right).$$

$$\frac{3}{4} \dot{Q} = \frac{\Delta T_2}{R_2} + \frac{\Delta T_2}{R_3} \quad (2).$$

$$R_2 = \left(\frac{1}{h_b A_p} + \frac{\Delta x}{K A_p} + \frac{1}{h_k A_p} \right).$$

$$R_3 = \left(\frac{1}{h_b A_s} + \frac{\Delta x}{K A_s} + \frac{\Delta y}{K' A_s} + \frac{1}{h_k A_s} \right).$$

$$(1)/(2) \rightarrow \Delta y = 0,4658 \text{ m}.$$

10.D- Diseinatzaile batek ontzi zilindriko baten barnealdea berotzeko, berau inguratzen duen eraztuna erabiltzea proposatzen du. Eraztunaren barne-pareta 200 °C lortzen dituen erresistentzia da. Eraztunaren gainontzekoa $k = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$ eroankortasun termikoa duen isolatzailea da. Konbekzio-koefizientea $10 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$ eta kanpoko airearen tenperatura 20 °C-koa badira, kalkulatu:

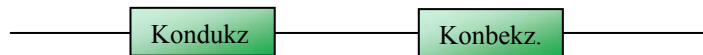
- zenbat bero askatzen den kanporantz elementu-berogailuaren (eraztuna) pareta zilindrikotik.
- Kanpo-gainazalaren tenperatura.

Eraztunaren oinarrietatik bero-galera arbuia garria da.

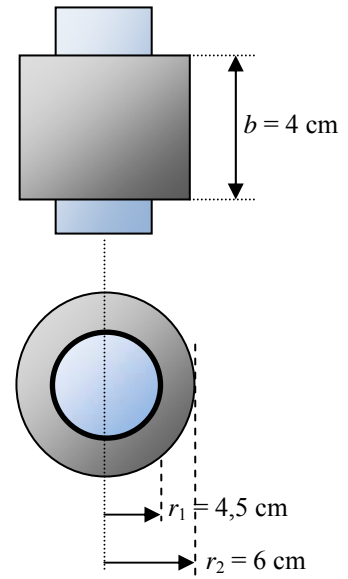
Ebazpena:

$$a) R = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k l} + \frac{1}{h_o 2\pi r_2 l} = \left(\frac{185,5077}{2\pi} \right) \frac{\text{K}}{\text{W}} = 29,52 \frac{\text{K}}{\text{W}}.$$

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R} = 6,097 \text{ W}.$$



$$b) \text{Konduktzioa } \dot{Q} = \frac{\Delta T}{\left(\frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi K l} \right)} = \frac{(200 - T)}{\left(\frac{143,8410}{2\pi} \right)} \rightarrow T = 60,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$



10.- Bero-transmisioa

10.E- Gordailu esferiko baten barruan dagoen likidoaren lurrunketa eragozteko, gordailua geruza isolatzaile batez estaltzen da. Gordailuaren barne eta kanpo-diametroak D_1 eta D_2 dira; Konbekzio-koefizienteak barruan eta kanpoan h_1 eta h_0 dira, hurrenez hurren; gordailuaren eroankortasun termikoa k da eta isolatzailearena k_1 . Deduzi ezazu diametro kritikoaren adierazpena (erresistentzia minimoa deneko diametroa).

Ebazpena: Gainazal esferikoen arteko kondukzioa:

$$\dot{Q} = -k \cdot (4\pi r^2) \cdot \frac{dT}{dr} \rightarrow -\frac{\dot{Q}}{4\pi k} \cdot \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2} = \int_{T_1}^{T_2} dT \rightarrow \frac{(T_1 - T_2)}{\dot{Q}} = \frac{1}{4\pi k} \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = (R_T)_{1 \rightarrow 2}.$$

Erresistentzia osoa geruza isolatzailea jarri eta gero:

$$R = \frac{1}{h_1 4\pi r_1^2} + \frac{1}{4\pi k} \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) + \frac{1}{4\pi k_1} \cdot \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r} \right) + \frac{1}{h_0 4\pi r^2}.$$

Erresistentzia termiko minimorako $r = r_k$:

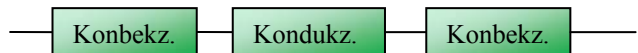
$$\left(\frac{dR}{dr} \right)_{r=r_k} = 0 \rightarrow \frac{1}{4\pi r_k^2} \cdot \left(\frac{1}{k_1} - \frac{2}{h_0 r_k} \right) = 0 \rightarrow r_k = \frac{2k_1}{h_0} \rightarrow D_k = \frac{4k_1}{h_0} \quad \left[\left(\frac{d^2R}{dr^2} \right)_{r=r_k = \frac{2k_1}{h_0}} > 0 \right].$$

10.F- Etxola baten hormak eta sabaia egurrezkoak dira ($k_E = 17,9 \text{ kcal} \cdot \text{cm}/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$). Lau hormek 3 m-ko altuera eta 5 m-ko zabalera dituzte, eta sabaia horizontala eta karratua da. Hormen lodiera 20 cm-koa da, eta sabaiarena 30 cm-koa. Konbekzio-koefizienteak barruan $4,2 \text{ kcal}/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ da, eta kanpoan $3,8 \text{ kcal}/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Zoruan zehar ez dago bero-askapenik. Barruko temperatura $21 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan mantentzen da egurrezko su bati esker, erretzen den egurraren eduki energetikoa 2.800 kcal/kg izanik. Kanpoko temperatura $3 \text{ }^\circ\text{C}$ -koa da.

a) Zein da eguneko egur-kontsumoa?

b) Kontsumoa gutxitzeko sabaia $k_1 = 4,22 \text{ kcal} \cdot \text{cm}/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ eroankortasuneko kartoi batez estaltzen da. Zein izan behar da kartoiaren lodiera egur-kontsumoa % 10 jaisteko?

Ebazpena:



a) Hormen erresistentzia termikoa:

$$R_H = \frac{1}{4,2 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 5} + \frac{20}{17,9 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 5} + \frac{1}{3,8 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 5} = 0,026976 \frac{^\circ\text{C}}{\text{kcal/h}}.$$

Sabaiaren erresistentzia termikoa:

$$R_S = \frac{1}{4,2 \cdot 5^2} + \frac{30}{17,9 \cdot 5^2} + \frac{1}{3,8 \cdot 5^2} = 0,087089 \frac{^\circ\text{C}}{\text{kcal/h}}.$$

Kalkulatoriko bi erresistentzia termikoak paraleloan kokatuta daudenez:

10.- Bero-transmisioa

$$\frac{1}{R_{\text{osoa}}} = \frac{1}{R_H} + \frac{1}{R_S} \rightarrow R_{\text{osoa}} = \left(\frac{0,026976 \cdot 0,087089}{0,026976 + 0,087089} \right) = 0,020596 \frac{^\circ\text{C}}{\text{kcal/h}}.$$

Etxolatik kanporatzen den energia orduko: $\dot{Q} = \frac{21-3}{0,020596} = 873,956 \text{ kcal/h}.$

Etxola temperatura horretan mantentzeko erre behar den egurraren kantitatea egun batean:

$$24 \frac{\text{h}}{\text{egun}} \cdot 873,956 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} \cdot \left(\frac{1 \text{ kg egur}}{28.000 \text{ kcal}} \right) = 7,491 \frac{\text{kg egur}}{\text{egun}}.$$

b) Bero-fluxua sabaian kartoia jartzean: $\dot{Q} = 0,90 \cdot 873,956 = 786,5604 \text{ kcal/h}.$

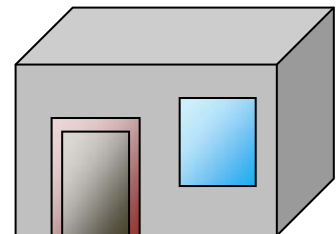
Erresistentzia termiko berria: $R'_{\text{osoa}} = \left(\frac{21-3}{786,5604} \right) = 0,022884 \frac{^\circ\text{C}}{\text{kcal/h}}$

$$\frac{1}{R'_S} = \frac{1}{R'_{\text{osoa}}} - \frac{1}{R_H} \rightarrow R'_S = \left(\frac{0,026976 \cdot 0,022884}{0,026976 - 0,022884} \right) = 0,150860 \frac{^\circ\text{C}}{\text{kcal/h}}.$$

$$R'_S = R_S + \frac{L_{\text{kartoi}}}{K_{\text{kartoi}} \cdot A_S}.$$

$$L_{\text{kartoi}} = K_{\text{kartoi}} \cdot A_S \cdot (R'_S - R_S) = 4,22 \cdot 5^2 \cdot (0,150860 - 0,087089) = 6,73 \text{ cm}.$$

10.G- $100 \times 25 \times 5 \text{ m}^3$ -ko bolumeneko lantegiak ur beroaren bidezko berotze-sistema dauka. Berotze-sistemak 120.000 kcal/h -ko beroa ematen du. Lantegiaren lau fatxadek kalera ematen dute, eta orotara 96 m^2 -ko azalera beiraz estalita daukate. Beiraren lodiera 6 mm -koa da. Ateen azalera 28 m^2 -koa da.



a) Kalkulatu lantegiaren barruko temperatura, honako datuak kontutan hartuta:

- hormetan 25 cm -ko zabalerako adreilu trinkoak daude eta 2 cm -ko igeltsu-geruza bat.

- sabaitik $1 \text{ kcal}/(\text{h m}^2 \text{ }^\circ\text{C})$ ihes egiten du, eta ateetatik $3 \text{ kcal}/(\text{h m}^2 \text{ }^\circ\text{C})$.

- kanpoko temperatura $-1 \text{ }^\circ\text{C}$ da.

- barruko eta kanpoko mintz-koefizienteak hauek dira, $h_b = 8 \text{ kcal}/(\text{h m}^2 \text{ }^\circ\text{C})$ eta $h_k = 20 \text{ kcal}/(\text{h m}^2 \text{ }^\circ\text{C})$.

b) Barruko temperatura berdin mantenduta energiaren % 25 aurrezteko, hormak beira-zuntzaz estaltzea erabaki da. Kalkulatu beharrezkoa den beira-zuntzaren lodiera.

Materiala	Adreilua	Igeltsua	Beira	Beira-zuntza
Eroankortasun termikoa [kcal/(h m ² °C)]	$k_1 = 0,8$	$k_2 = 0,8$	$k_3 = 0,66$	$k_4 = 0,03$

10.- Bero-transmisioa

Ebazpena: a) Sabaia: $\dot{Q}_{\text{sabaia}} = U \cdot A \cdot (T_b - T_k) = 1 \cdot (25 \cdot 100) \cdot (T_b - (-1)) = 2.500 \cdot (T_b + 1)$.

Ateak: $\dot{Q}_{\text{ateak}} = U \cdot A \cdot (T_b - T_k) = 3 \cdot 28 \cdot (T_b - (-1)) = 84 \cdot (T_b + 1)$.

Hormen azalera: $2 \cdot [(100 \cdot 5) + (25 \cdot 5)] - 28 - 96 = 1.250 - 28 - 96 = 1.126 \text{ m}^2$.

Hormen erresistentzia termikoa: $R = \frac{1}{A} \cdot \left(\frac{1}{h_b} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{1}{h_k} \right) = 45,515 \cdot 10^{-5} \text{ (h}^\circ\text{C)/kcal}$.

Hormak: $\dot{Q}_{\text{hormak}} = \frac{(T_b - T_k)}{R} = \frac{(T_b + 1)}{45,5 \cdot 10^{-5}} = 2.197,07 \cdot (T_b + 1)$.

Leihoen erresistentzia termikoa: $R = \frac{1}{A} \cdot \left(\frac{1}{h_b} + \frac{x}{k} + \frac{1}{h_k} \right) = 19,176 \cdot 10^{-4} \text{ (h}^\circ\text{C)/kcal}$.

$\dot{Q}_{\text{lehoiak}} = \frac{(T_b - T_k)}{R} = 521,73 \cdot (T_b + 1)$.

$\dot{Q} = \dot{Q}_{\text{sabaia}} + \dot{Q}_{\text{ateak}} + \dot{Q}_{\text{hormak}} + \dot{Q}_{\text{lehoiak}}$.

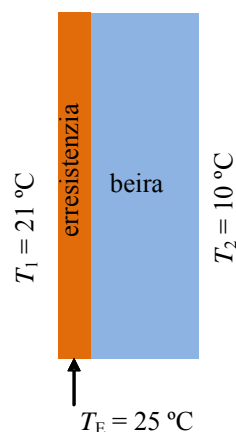
$120.000 = 2.500 \cdot (T_b + 1) + 84 \cdot (T_b + 1) + 2.197,07 \cdot (T_b + 1) + 521,73 \cdot (T_b + 1) \rightarrow T_b = 21,63^\circ\text{C}$.

b) Hormak isolatzailearekin estali ondoren: $\dot{Q} = \dot{Q}_{\text{sabaia}} + \dot{Q}_{\text{ateak}} + \dot{Q}'_{\text{hormak}} + \dot{Q}_{\text{lehoiak}}$.

$\frac{3}{4} \cdot 120.000 = \left(2.500 + 84 + \frac{1}{R'} + 521,73 \right) \cdot (22,63) \rightarrow R' = 11,68 \cdot 10^{-4} \text{ (h}^\circ\text{C)/kcal}$.

$R' = R + \frac{x'}{Ak'} \rightarrow x' = 0,02339 \text{ m} = 23,39 \text{ mm}$.

10.H- Neguan ur-lurruna autoetako leihoetan kondentsatu ohi da. Atzeko leihoan kondentsazioa ekiditeko berotze-sistema bat erabiltzen da. Leihoaren barruko gainazalean itsatsita dagoen erresistentzia elektriko batetik (gainazal osoa estaltzen duela suposatu) korrante elektrikoa pasazten da, eta Joule efektuz beira berotzen da. Demagun erresistentzia 25°C -ko tenperatura konstantean mantentzen dugula, eta autoaren kanpoko eta barruko airearen tenperaturak (hauek ere konstanteak) 10°C eta 21°C direla, hurrenez hurren. Beiraren barruko gainazalaren konbekzio-koefizientea $0,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ da, eta kanpoko gainazalarena, berriz, $0,6 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Beiraren eroankortasun termikoa 1 W/(m K) da. Bateriak emandako tentsioa 12 V -ekoa da, atzeko leihoaren azalera $1,5 \text{ m} \times 0,4 \text{ m}$ eta beiraren lodiera 4 mm -koa.



a) Zein izan behar da igaro beharreko korrante elektrikoaren intentsitatea?

b) Autoaren aurreko leihoaren kasuan, kondentsazioa ekiditeko airea pasazten da. Leihoan kondentsatutako ura kentzeko, zer izango da eraginkorragoa aire beroa ala aire hotza erabiltzea? Azaldu era egokian erantzuna.

10.- Bero-transmisioa

Ebazpena: a) Barruranzko bero-fluxua: $\dot{Q}_1 = h_1 A \cdot (T_E - T_1) = 0,5 \cdot 1,5 \cdot 0,4 \cdot (25 - 21) = 1,2 \text{ W}$.

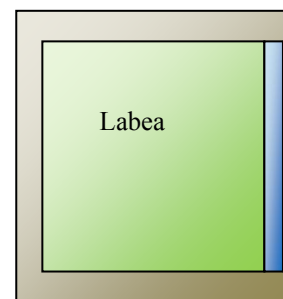
$$\text{Kanporanzko bero-fluxua: } \dot{Q}_2 = \frac{(T_E - T_2)}{\left(\frac{L}{KA} + \frac{1}{h_2 A}\right)} = \frac{(25 - 10)}{\left(\frac{0,004}{1 \cdot 1,5 \cdot 0,4} + \frac{1}{0,6 \cdot 1,5 \cdot 0,4}\right)} = 5,387 \text{ W}.$$

Bateriak kontsumitzen duen potentzia: $\dot{Q}_1 + \dot{Q}_2 = 1,2 + 5,387 = 6,587 \text{ W} = Pot$.

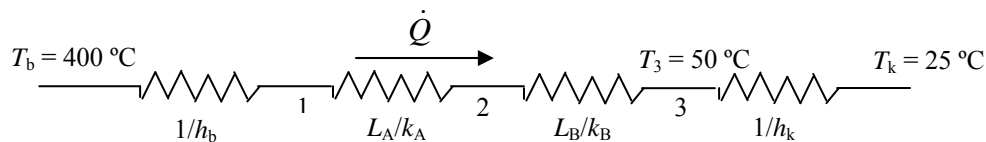
$$Pot = V \cdot I \rightarrow I = \frac{6,587}{12} = 0,549 \text{ A}.$$

b) Autoaren barruko airean dagoen ur-lurruna beiran kondentsatzen da, beira hotz dagoelako. Beirarekin kontaktuan dagoen aire-geruzak tenperatura baxua dauka, autoaren barruko gainontzeko airea ez bezala. Horregatik, bere baitan daukan ur-lurruna ezin du guztiz gorde, eta kondentsatzen da. Hori ekiditeko, beiraren kontra aire beroa botatzea komeni da. Horrela, beirarekin kontaktuan dagoen aireak tenperatura altuagoa izango du, eta bere asetasun presioa ere handiagoa izango da. Horregatik, aire beroak jasan dezakeen hezetasun espezifiko maximoa ere handiagoa izango da.

10.I- Etxetresna elektrikoek ekoizle batek autogarbitzen den labea diseinatzen ari da. Labearen atea tenperatura altuko bi plastiko gardenez osaturik dago, A eta B. Plastikoen lodieren arteko erlazioa hau da, $L_A = 2L_B$, eta eroankortasun termikoak: $k_A = 0,15 \text{ W/(m K)}$ eta $k_B = 0,08 \text{ W/(m K)}$. Autogarbitzetaren prozesuan, barruko airearen tenperatura 400°C da, kanpoko airearena 25°C den bitartean. Barruko eta kanpoko mintz-koefizienteak hauek dira: $h_b = 50 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ eta $h_k = 25 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$. Zein izan behar da leihoaren lodiera minimoa ($L = L_A + L_B$), kanpoko gainazalaren tenperaturak, arauk finkatutako 50°C -ko muga ez gainditzeko?



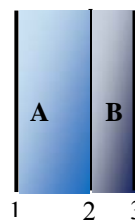
Ebazpena:



$$\frac{\dot{Q}}{A} = \frac{T_3 - T_k}{\left(\frac{1}{h_k}\right)} = 625 \text{ W/m}^2.$$

$$\frac{\dot{Q}}{A} = \frac{T_b - T_3}{\left(\frac{1}{h_b} + \frac{2L_B}{k_A} + \frac{L_B}{k_B} + \frac{1}{h_k}\right)}.$$

$T_b = 400^\circ\text{C}$



$T_k = 25^\circ\text{C}$

$$L_B = 0,0209 \text{ m} \rightarrow L_A = 0,0418 \text{ m}.$$

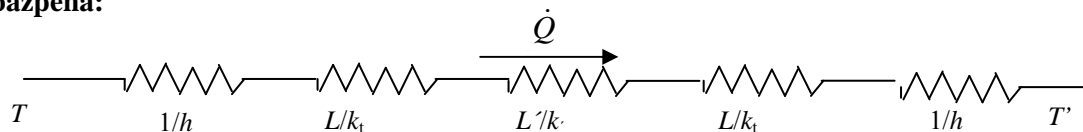
$$L_A + L_B = 0,0627 \text{ m}.$$

10.J- Bulego-eraikin bat, barrutik hutsik dagoen horma bat erabiliz eraikita dago. Horma hau $0,11 \text{ m}$ -ko lodieradun bi trenkadaz osaturik dago. Bi trenkaden arteko tartea 50 mm -ko lodierakoa da eta airez beterik dago. Trenkaden arteko tartea bits isolatzailez betetzen badugu, zein izango da energiaren aurrezpen

10.- Bero-transmisioa

portzentajea? Trenkaden arteko tartean konbektzioa arbuia. Hormaren kanpoko bi aurpegietan mintz-koefizientea $h = 10 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ da, trenkaden eroankortasuna $k_t = 0,7 \text{ W}/(\text{m K})$, isolatzailearena $k_i = 0,01 \text{ W}/(\text{m K})$ eta airearena $k = 0,026 \text{ W}/(\text{m K})$.

Ebazpena:



$$\text{Airearen kasuan: } A \cdot R = \frac{2}{h} + \frac{2L}{k} + \frac{L_{\text{airea}}}{k_{\text{airea}}} = 2,4374 \text{ (K m}^2\text{)/kJ} .$$

$$\text{Bitsaren kasuan: } A \cdot R' = \frac{2}{h} + \frac{2L}{k} + \frac{L_{\text{bitsa}}}{k_{\text{bitsa}}} = 5,5143 \text{ (K m}^2\text{)/kJ} .$$

$$\frac{|\dot{Q}_{\text{airea}} - \dot{Q}_{\text{bitsa}}|}{|\dot{Q}_{\text{airea}}|} = 0,5580 \rightarrow \% 55,80 .$$

10.- Bero-transmisioa

ARIKETAK EMAITZEKIN

10.1- Erresistentzia elektriko mehe zilindriko batek, 1 mm erradioduna eta 0,8 emisibitatekoa, bere azaleran 1.000 K-eko tenperatura du. Gela batetan sarturik dago. Gela horren hormen tenperatura 300 K-koa da, eta euren emisibitatea 0,3. Erresistentziak xahutzen duen denbora-unitateko beroa 0,2 kcal/s bada, kalkula ezazu erresistentziaren luzera.

Emaitza: 2,93 m.

10.2- Aurkako korronteen bidezko trukagailu baten barne-hodiaren diametroa 0,2 cm-koa da, eta bertatik helioaren 0,4 g/s-ko masa-emaria igarotzen da. Helioa 300 K-etan sartzen da, eta 84 K-etan irteten da. Helioaren bero espezifikoa 1,25 cal/(g °C) da. Kanpoko "eraztun" itxurako hutsunetik, eta aurkako noranzkoan, N₂ igarotzen da 3 g/s-ko masa-emariarekin. N₂-ren bero espezifikoa 0,25 cal/(g·°C) da, eta 78 K-eko tenperaturarekin sartzen da.

a) Zein da He-tik N₂-rako bero-emari osoa?

b) Zein tenperaturatan irtengo da nitrogenoa?

c) Zein da batezbesteko tenperatura-diferentzia logaritmikoa?

d) Zein da transmitantzia? Datuak: $h_{\text{He}} = 0,064 \text{ cal}/(\text{s}\cdot\text{cm}^2\cdot^\circ\text{C})$; $h_{\text{N}_2} = 0,032 \text{ cal}/(\text{s}\cdot\text{cm}^2\cdot^\circ\text{C})$.

e) Zein da trukagailuaren luzera?

Emaitzak: a) 108 cal/s; b) 222 K; c) 28,07 K; d) 0,0213 cal/(s·cm²·°C); e) 287,5 cm.

10.3- Lurrun-hodi baten kanpo-erradioa R_1 da, eta bere inguruan R_2 kanpo-erradioa duen geruza isolatzailea dauka. Isolatzaile zilindrikoan zehar beroa kanporantz dario erradialki. Isolatzailearen barne-azaleraren tenperatura T_1 da, eta kanpokoarena T_2 . Hodiaren zentrotik, zein distantzia erradialean tenperatura T_1 eta T_2 -ren batezbesteko aritmetikoa da?

Emaitza: $R = (R_1 \cdot R_2)^{1/2}$.

10.4- Tutu baten barne- eta kanpo-erradioak 1,3 cm eta 1,5 cm dira, hurrenez hurren. Tutua isolatzaile batekin estali dugu bero-galararik egon ez dadin ($k = 0,1 \text{ kcal}/(\text{m}\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C})$). Kalkula ezazu tutua isolatzen hasteko behar den isolatzailearen lodiera minimoa. Konbekzio-koefizientea (barnean zein kanpoan) = 4 kcal/(m²·h·°C).

Emaitza: 3,15 cm.

10.5- Egurrezko etxola baten paretan eta sabaiaren lodiera 10 cm-koa da. Egurrezko su batek barruko tenperatura 20 °C-tan mantentzen du, kanpoko tenperatura -3 °C delarik. Bat batean elurra hasi da. Kanpoko tenperatura 0 °C-raino igo da, eta barruan, 20 °C-ko tenperatura mantentzeko, elurretan hasi aurreko egurraren 3/4-a behar dela behatu da. Sabaiaren azalera paretaren herena da, eta elurra sabaian geratu da soilik. Egurraren eroankortasun termikoa 0,13 da, eta elurrarena 0,4 kcal/(m·°C·h). Kalkulatu eroritako elurraren lodiera.

Emaitza: 0,376 m.

10.6- Gainazal beltzeko erresistentzia elektriko zilindrikoak 0,1 mm-ko erradioa du, eta 2 m-ko luzera. Erresistentzia hodi beltz baten barruan kokaturik dago ardazkideki eta hutsean, eta 146 W kontsumitzen du. Hodi

10.- Bero-transmisioa

beltzaren ezaugarriak honako hauek dira: $k = 0,73 \text{ kcal}/(\text{m}\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C})$, $R_{\text{bame}} = 2 \text{ mm}$ eta $R_{\text{kanpo}} = 4 \text{ mm}$. Tutuaren kanpo-ingurua 50°C -tan mantentzen bada, kalkula ezazu erresistentziaren azalerako tenperatura.

Emitza: 1.206 K.

10.7- 4 m^2 -ko azalerako paretak isolatzaileak hiru geruza desberdinak ditu. Paretak 15 cm -ko kortxo-geruza dauka erdian. Barrutik 11 cm -ko lodierako adreilu-geruzaz babesturik dago, eta kanpotik, $7,5 \text{ cm}$ -ko egur-geruzaz estalita. Egurraren kanpoaldea -7°C -tan mantentzen da, eta adreiluena 21°C -tan. Kalkulatu paretan zeharreko bero-jarioa eta bitarteko tenperaturak. Honako eroankortasun termikoak har itzazu:

Adreilua: $259 \text{ kJ}\cdot\text{cm}/(\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C})$.

Kortxoa: $15,54 \text{ kJ}\cdot\text{cm}/(\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C})$.

Egurra: $39,2 \text{ kJ}\cdot\text{cm}/(\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C})$.

Emitzak: $93,41 \text{ kJ/h}$; $T_1 = 20,01^\circ\text{C}$; $T_2 = -2,53^\circ\text{C}$.

10.8- Eroale zilindriko mugagabe batek 1 cm -ko erradioa dauka, eta $1,2 \text{ cm}$ -ko kanpo-erradioa duen isolatzaile zilindriko batez inguratuta dago. Eroaletik dentsitate uniformeko korronea pasatuz $0,4 \text{ cal/s}$ beroa sortzen da eroalearen cm^3 bakoitzean. Ingurune tenperatura 25°C -ko balio konstantean mantentzen da. Eroalearen eta isolatzailearen eroankortasun termikoen koefizienteak hauek dira, $0,4 \text{ cal}/(\text{s}\cdot\text{cm}\cdot^\circ\text{C})$ eta $0,002 \text{ cal}/(\text{s}\cdot\text{cm}\cdot^\circ\text{C})$, hurrenez hurren. Kalkula ezazu egoera iraunkorrerako tenperatura-banaketa legea. Aurkitu baita eroalearen ardatzeko tenperatura. Azken horrek 100°C -ko balioa ez gaintzeko, zein da isolatzailearen lodiera maximoa?

Emitzak: $43,48^\circ\text{C}$; $1,1 \text{ cm}$.

10.9- 1 cm eta 10 cm -ko erradioak dituen horma zilindriko batetan zehar $100 \text{ kcal}/(\text{h}\cdot\text{m}_{\text{kanpo}}^2)$ dario kanporantz. Bere materialaren eroankortasunak ondoko adierazpenari darraio: $k = k_0(1 + a\cdot t)$, $k_0 = 0,2 \text{ kcal}/(\text{m}\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C})$, non $a = 0,001^\circ\text{C}^{-1}$ den. Kanpoko azaleko tenperatura 40°C -koa bada, kalkula barne-azaleko tenperatura egoera iraunkorrean.

Emitza: $145,4^\circ\text{C}$.

10.10- Isolatu gabeko 8 cm diametroan hodia lurrunaren kondukzioerako erabiltzen da. Hodia $0,8$ -ko emisibitatea dauka, eta gela batetan zehar iragaten da bertikalki. Aireak, paretak eta gainontzeko gainazal denak 27°C -tan mantentzen dira. Hodiaren azalerako tenperatura 97°C bada, konpara bitez erradiazioz eta konbektzio naturalez galdutako beroak denbora eta luzera unitateko. Mintz-koefizientea: $h = 6,19 \text{ kcal}/(\text{h}\cdot\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$.

Emitzak: $108,9 \text{ kcal}/(\text{h}\cdot\text{m})$ konbektzioz; $105,5 \text{ kcal}/(\text{h}\cdot\text{m})$ erradiazioz.

10.11- Transformadore elektriko bat hozteko olioak erabiltzen da. Olioaren bero espezifikoak hauxe da: $c_p = 0,42 \text{ kcal}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$. Ondoren, olio hozteko olio-ur bero-trukagailu bat erabiltzen da. Orduko 1.360 kg -ko olio-emia 80°C -tik 30°C -raino hozten da. 2.950 kg/h -ko ur-emia 16°C -tan sartzen da trukagailura. Trukagailuaren transmitantzia $254 \text{ kcal}/(\text{h}\cdot\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$ da. Kalkulatu batezbesteko tenperatura-diferentzia logaritmikoa eta beharrezkoa den azalera a) aurkako korroneen bidezko fluxuan eta b) fluxu paraleloan.

Emitzak: a) $29,7^\circ\text{C}$; $3,77 \text{ m}^2$; b) $22,1^\circ\text{C}$; $5,1 \text{ m}^2$.

10.12- Kobrezko, letoizko eta altzairuzko hagatxoak soldatzen dira "Y" bat egiteko. Hagatxo bakoitzaren zeharkako sekzioa 2 cm^2 -koa da. Kobrezko hagatxoaren mutur askea 100°C -tan mantentzen da, eta letoizko eta altzairuzko hagatxoarenak $0,0^\circ\text{C}$ -tan. Hagatxoaren aldeko gainazaletatik bero-galerarik ez dagoela onartu daiteke.

10.- Bero-transmisioa

Luzerak eta eroankortasunak honako hauek dira: kuprea: 18 cm, 385 W/(m·K); latoia: 24 cm, 109 W/(m·K); altzairua: 12 cm, 50,2 W/(m·K).

- Zein da elkartze-puntuaren tenperatura?
- Kalkulatu hagatxo bakoitzean zeharreko bero-korrontea.

Emaitzak: a) 71,03 °C; b) 12,4 W; 5,9 W; 6,5 W.

10.13- Jario paraleloz lan egiten duen bero-trukagailuan, jariakin beroa 130 °C-tik 80 °C-ra hozten da, eta jariakin hotza 25 °C-tik 60 °C-ra berotzen da. Aurkako korrontez lan eginez gero, kalkula ezazu aurreztu daitekeen kontaktuzko azalera. Suposatu bi kasuetan transmitantzia-koefizientea berdina dela.

Emaitza: % 21,34 gehiago behar da korronte paraleloko kasuan.

10.14- Deduzi ezazu barruko erradioa R_1 eta kanpoko erradioa R_2 dituen horma esferiko baten zeharreko kondukzioaren bidezko bero-galeraren adierazpena. Hormaren eroankortasun termikoa k da, eta tenperatura-diferentzia, $(T_1 - T_2)$.

a) Eskimalen etxeek, igluak, esferaerdiaren itxura daukate, eta izotz-blokeekin eraikitzen dira. Igluaren kanpoko ingurunearen tenperatura konstante mantentzen da egun osoan, -30 °C-tan. Igluaren barruko gainazalarenak, berriz, 0 °C-koa izan behar du, izotza urtu ez dadin. Kalkula itzazu igluaren barruko tenperatura eta egunean erre behar den egurra. Egurraren eduki-energetikoa 16.000 kJ/kg-koa da. Barruko konbekzio-koefizientea $h_1 = 12$ W/(m²°C), kanpoko $h_2 = 30$ W/(m²°C); izotzaren eroankortasun termikoa $k = 2$ W/(m °C). Igluaren neurriak hauek dira: barruko erradioa $R_1 = 2$ m eta lodiera $e = 0,5$ m. Zoruan zehar ez dago bero-galerarik.

- Hormaren lodiera bikoizten badugu, zeintzuk izango dira barruko tenperatura eta egur-kontsumoa?
- Hormaren hasierako lodiera bikoiztu baina egur-kontsumoa mantenduko bagenu, zeintzuk izango lirateke barruko tenperatura eta hormaren barne- eta kanpo-gainazaletakoa?

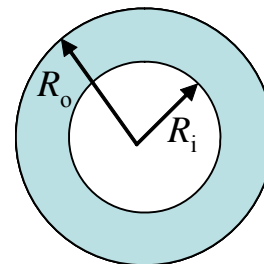
Emaitzak: a) 11,3 °C; 18,4 kg/egun; b) 7,2 °C; 11,7 kg/egun; c) 28,5 °C; 17,2 °C (urtuko litzateke); -28 °C.

10.15- 450 m²-ko transmisio-azalera duen kontrakorronteko bero-trukagailu batera ura 74 °C-tan sartzen da, eta 136 °C-tan ateratzen da. Uraren bero espezifikoa $c_p = 4,187$ kJ/(kg K) da. Erreketa-hondakinen 34.000 kg/h-ko emaria ere pasatzen da trukagailutik. Hondakin horien tenperatura 300 °C-tik 140 °C-ra jaisten da. Erreketa-hondakinen bero espezifikoa $c_p = 1,005$ kJ/(kg °C) da. Kalkula itzazu:

- Tenperatura-diferentzien batzbesteko logaritmikoa.
- Transmitantzia.
- Ezaugarri guztiek finko baldin badiraute, fluxu paraleloen kasuan behar den transmisio-azalera.

Emaitzak: a) 107,7 °C; b) 112,8 kJ/(h m² °C); c) 881 m².

10.16- Idatz ezazu egoera iraunkorrean hodi zilindriko bat zeharkatzen duen bero-korrontearen adierazpena. Datuak: hodiaren luzera l ; barruko erradioa R_i ; kanpo-erradioa R_o ; barruko konbekzio-koefizientea h_i ; kanpoko konbekzio-koefizientea h_o ; eroankortasuna k .



10.- Bero-transmisioa

Emitza:
$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{\left(\frac{1}{2\pi R_i h_i l} + \frac{\ln(R_o/R_i)}{2\pi k l} + \frac{1}{2\pi R_o h_o l} \right)}$$

10.17- Lurruna daraman hodi zilindriko bat material isolatzaile batez estali nahi dugu, bero-galerak gutxitzeko. Hala ere, estalkiaren lodiera txikiegia izanez gero, bero-galera gutxitu beharrean gehitu egin daiteke (erresistentzia termikoa txikitu delakoaren adierazlea). Esprika ezazu hori zergatik gertatzen den. Izan ere, estalki isolatzailearen diametro jakin baterako (diametro kritikoa) erresistentzia termikoa minimoa izango da (eta beraz, bero-galera maximoa). Deduzi ezazu diametro kritikoa adierazpena, isolatzailearen eroankortasun termikoa eta kanpoko airearekin duen konbektzio-koefizientearen funtzioan.

Emitza: $D_{\text{kritikoa}} = 2k/h_2$.

10.18- (2003/07) Kanpo-horma adreiluz eraikita duen gela bat daukagu. Gelaren barruko airearen tenperatura 20 °C-tan mantentzen da, hezetasun erlatiboa % 60koa izanik. Egunduek hotz batean kanpo-tenperatura -20 °C-koa da, eta presio atmosferikoa 1 bar-ekoa da.

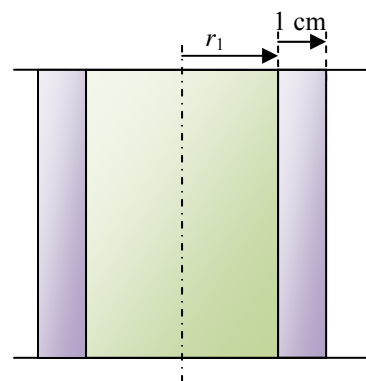
- Zein da hormaren barneko aldearen tenperatura?
- Hormaren barneko alde horretan kondentsazioa emango al da?
- Kondentsazioak ekiditeko, kortxoko xafla bat atxikitzen zaio hormari. Zein da xafla honek izan behar duen lodiera minimoa.
- Horman 1,5 m²-ko leihoa dago, eta bere transferentzia koefizientea U da. Hormaren gainazal totala 18 m²-koa bada (leihoa barne), eguneko zenbat egun erre behar da gela 20 °C-tan mantentzeko?

Datuak: Egurraren bero ahalmena 20.000 kJ/kg; hormaren lodiera = 0,11 m; $k(\text{adreilua}) = 259 \cdot 10^{-2}$ kJ/(m °C h); $h(\text{barne}) = 12$ W/(m² °C); $h(\text{kanpo}) = 30$ W/(m² °C); $k(\text{kortxo}) = 15,54 \cdot 10^{-2}$ kJ/(m °C h); $U = 2,5$ kcal/(m² °C h).

Emitzak:

10.19- $r_1 = 2$ cm eta $L = 2$ m-ko zilindro trinkoa $\dot{q} = 10.000$ W/m³-ko bolumen unitateko beroa sortzen du. Zilindroa $k = 0,05$ W/(m °C) eroankortasuna duen zentimetro bateko geruza isolatzaile batez inguratuta dago. Isolatzailearen kanpo horma $T_2 = 25$ °C dela jakinik, lor ezazu egoera iraunkorrean isolatzailearen barne-hormaren tenperatura.

Emitza: 41, 219 °C.



10.20- 1,5 m-ko altuera eta 1 m-ko zabalera dituen leiho batek, 4 mm-ko lodieradun beirazko bi xafla dauzka, eta beraien artean, 7 mm-ko lodieradun aire-geruza. Gelaren giro-tenperatura 25 °C-koa eta kanpoko tenperatura 0 °C-koa den egunduek batean, kalkulatu leihoan zeharreko bero-galera. Suposatu beiraren eroankortasun termikoa 1 W/(m K) eta aire-geruzarena 0,026 W/(m K) direla, eta barruko eta kanpoko mintz-koefizienteak berdinak direla, 10 W/(m² K) baliokoak.

Emitza: 78,578 W.

10.- Bero-transmisioa

10.21- 20 mm-ko lodieradun altzairu-xaflaz egindako presio-ontzi esferikoak, 0,5 m-ko barne-erradioa du. Ontzia 25 mm-ko bermikulita geruzaz estalita dago, eta horren gainean 10 mm-ko asbesto-geruza dago. Kanpo-gainazaleko konbekzio-koefizientea $20 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ da, eta altzairu, bermikulita eta asbestoaren eroankortasun termikoak $48 \text{ W}/(\text{m K})$, $0,047 \text{ W}/(\text{m K})$ eta $0,21 \text{ W}/(\text{m K})$ dira, hurrenez hurren.

- Barne-gainazalaren tenperatura $500 \text{ }^\circ\text{C}$ -koa bada eta kanpoko airearen tenperatura $20 \text{ }^\circ\text{C}$, aurkitu kW-etan bero-galerak (erradiazioa mesprezatu).
- Deduzi ezazu asbestoaren erradio kritikoaren adierazpena, asbestoaren k eroankortasun termikoa eta kanpo-konbekzioaren h koefizientearen funtzioan.
- Aztertu b) atalaren emaitza ariketaren zenbakizko datuekin.

Emaitzak: a) $2.743,9 \text{ W}$; b) $R_k = 2k/h$; c) $R > R_k = 2,1 \text{ cm}$.

10.22- Enpresa batek, ur-berogailu bi modelo ezberdin fabrikatzen ditu. Biek forma zilindrikoa dute, eta metalezko pareta bikoitzaz eginda daude. Modelo merkeenak ez du material betegarririk bi paretan artean, eta paretan artean dagoen airearen konbekzio koefizientea $20 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ -ekoa da. Bestean, ordea, beira-zuntzaz betetzen da bi paretan arteko hutsunea. Bi modeloetan barneko paretaren diametroa $0,6 \text{ m}$ -koa da eta kanpoko paretarena $0,7 \text{ m}$ -ko da. Altuera 3 m -koa da. Barneko pareta $60 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan dago eta berogailua inguratzen duen airearen tenperatura $25 \text{ }^\circ\text{C}$ -koa da. Kanpoaldeko konbekzio koefizientea $15 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ -ekoa da. Dimentsio bakarreko bero-fluxu erradiala dela suposatuz, eta metalezko pareta bien erresistentzia termikoa arbuaiatuz, kalkula bitez:

- ura erabiltzen ez denean, berogailu bakoitzak erregimen egonkorrean kontsumitzen duen potentzia elektrikoa.
- Modelo garestiena erosteak dakarren energia-aurrezpena.

Oharra: Beira-zuntzaren eroankortasun termikoa $0,05 \text{ W}/(\text{m K})$ -ekoa da.

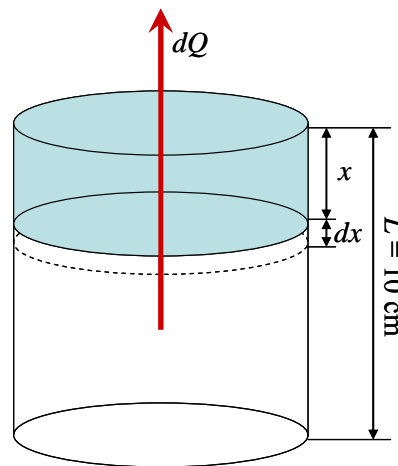
Emaitzak: a) $1.319,4 \text{ W}$; $201,54 \text{ W}$; b) $\% 84,73$.

10.23- Gau hotz batean, A sekzio konstantea eta 10 cm -ko sakonera dituen putzua hamabi ordutan izozten da. Izozte-prozesu osoan zehar ur likidoaren tenperatura $0 \text{ }^\circ\text{C}$ -koa dela suposatu, eta putzuaren hormetan zeharreko bero-galerak mesprezatu. Aurkitu inguruko tenperatura.

Datuak: izotzaren eroankortasun termikoa $k = 5 \cdot 10^{-3} \text{ cal}/(\text{cm s } ^\circ\text{C})$; izotzaren dentsitatea $\rho = 0,92 \text{ gr}/\text{cm}^3$; izotzaren fusio-bero sorra $h = 80 \text{ cal}/\text{g}$.

Oharra: kalkulatu dx lodierako xafla fin bat izozteko behar den dt denbora-tartea, bere gainean x lodiera duen izotz-geruza dagoenean. Gero integratu putzu osoa izoztu arte.

Emaitza: .



10.24- r_1 barne-erradioa, r_2 kanpo-erradioa eta k eroankortasun termikoa duen esfera, k' eroankortasun termikoa duen isolatzaile geruza batez inguratzen da. Kalkula ezazu erradio kritikoa, bere esanahia azalduz. Konbekzio koefizienteak barne-gainazalean h_1 eta kanpo-gainazalean h_3 dira.

Emaitza: $r_k = 2k'/h_3$.

10.- Bero-transmisioa

10.25- 20 m²-ko horma hiru materialez osaturik dago. Hormaren kanpoko alde adreilu trinkoz eginda dago (20 cm), erdian adreilu hutsezko geruza bat dago (10 cm) eta hormaren barruko aurpegia igeltsuz estalita dago (3 cm). Horman 0,5 × 1 m²-ko azalerako leiho bat dago, eta bere beirak 10 mm-ko lodiera du. Hormaren kanpoko aldean 3 °C-ko tenperatura dago eta barruko aldean 25 °C-koa. Tenperaturak konstante mantentzen direla suposatuz, kalkulatu ordu batean hormatik ihes egindako beroa.

Datuak: Adreilu trinkoa: $k_{at} = 1,25 \text{ W/(m } ^\circ\text{C)}$; adreilu hutsa: $k_{ah} = 0,53 \text{ W/(m } ^\circ\text{C)}$; igeltsua: $k_i = 0,45 \text{ W/(m } ^\circ\text{C)}$; beira: $k_b = 1,1 \text{ W/(m } ^\circ\text{C)}$.

Emitza: 8,074 10⁶ J.

10.26- (2003/09) 4 m²-ko kanpo-azalera totala duen hozkailu batek baldintza egonkorretan 4 °C-ko barne-tenperatura dauka. Hozkailua 25 °C-tan dagoen gela batean dago. Kondentsagailuak askatu behar duen beroa ondo aska dezan, kondentsazioko tenperaturak gelaren tenperaturarekiko 10 °C-ko aldea izan behar du. Era berean, lurrunketarako tenperaturak 10 °C-ko desberdintasuna izan behar du hozkailuaren barruan dagoen tenperaturarekiko. Konprimagailuaren etekin isoentropikoa 0,8 da, eta kondentsadore eta lurrungailuaren arteko presio-aldaketa balbula baten bidez egiten da. Hozte-prozesuan, fluido kondentsadorean lurrun ase modura sartzen da, eta bertatik likido ase moduan ateratzen da. Hozgarria R-134 da. Lor bitez:

- a) energia kontsumoa fluidoaren kilogramo bakoitzeko.
- b) Bero-transmisioaren koefiziente globala 0,369 W/m² bada, zenbat fluido pasatuko da segundoko?

Emitzak:

10.- Bero-transmisioa