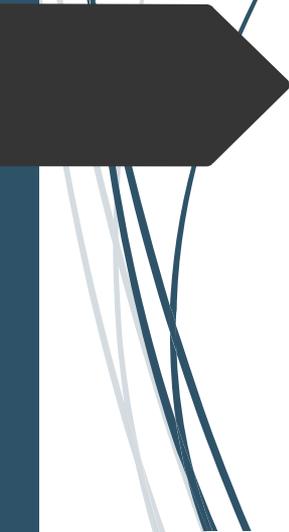


Professor: Valter Salles do Nascimento Jr
email: nascimento.valter@usp.br



Introdução da disciplina e metodologia
/ Sist. Termodinâmicos e Definições de
propriedade, estado, processo e
equilíbrio / Volume específico, pressão e
temperatura / Metodologia e solução
de problemas

Calendário

agosto

d	s	t	q	q	s	s
26	27	28	29	30	31	1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31	1	2	3	4	5

setembro

d	s	t	q	q	s	s
30	31	1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	1	2	3
4	5	6	7	8	9	10

outubro

d	s	t	q	q	s	s
27	28	29	30	1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31
1	2	3	4	5	6	7

novembro

d	s	t	q	q	s	s
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12

24 - Aniversário de São Carlos

dezembro

d	s	t	q	q	s	s
29	30	1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31	1	2
3	4	5	6	7	8	9

Semana	Conteúdos Programáticos	Descrição das atividades a serem realizadas pelo aluno antes da aula	Procedimentos metodológicos: situações de aprendizagem	Procedimentos, instrumentos e Critérios de avaliação		Materiais de apoio (Recursos)
					Peso	
1º	Introdução da disciplina e metodologia / Sist. Termodinâmicos e Definições de propriedade, estado, processo e equilíbrio / Volume específico, pressão e temperatura / Metodologia e solução de problemas	-----	Exposição de conteúdo, resolução de problemas	Atenção e participação		Computador, telefone celular ou similar, acesso à internet
2º	1º Lei e Conceitos Mecânicos de Energia / Transferência de energia através de trabalho / Transferência de energia através de calor	Acesso a aulas gravadas, leitura da bibliografia sugerida e revisão	Exposição de conteúdo, resolução de problemas	Atenção e participação		Computador, telefone celular ou similar, acesso à internet
3º	Balanco de energia para sistemas fechados / Análise de energia para ciclos / Revisão e exercícios	Acesso a aulas gravadas, leitura da bibliografia sugerida e revisão	Exposição de conteúdo, resolução de problemas	Atenção e participação		Computador, telefone celular ou similar, acesso à internet
4º	Propriedades de substância pura compressível / Princípio de estado, relação p-v-t / Energia int. específica e entalpia, calores específicos / Propriedades de líquidos e sólidos	Acesso a aulas gravadas, leitura da bibliografia sugerida e revisão	Exposição de conteúdo, resolução de problemas	Atenção e participação		Computador, telefone celular ou similar, acesso à internet
5º	Diagrama de Compressibilidade / Equações de estado, e equação de estado para gases reais / Conservação de massa para volumes de controle	Acesso a aulas gravadas, leitura da bibliografia sugerida e revisão	Exposição de conteúdo, resolução de problemas	Atenção e participação		Computador, telefone celular ou similar, acesso à internet
6º	Formas de balanço de massa e aplicações em termos de taxa / Conservação de energia para um volume de controle em regime permanente	Acesso a aulas gravadas, leitura da bibliografia sugerida e revisão	Exposição de conteúdo, resolução de problemas	Atenção e participação		Computador, telefone celular ou similar, acesso à internet
7º	Análise de volumes de controle em regime permanente / Análise energética de volumes de controle em regime transiente	Acesso a aulas gravadas, leitura da bibliografia sugerida e revisão	Exposição de conteúdo, resolução de problemas	Atenção e participação		Computador, telefone celular ou similar, acesso à internet
8º	Resolução de problemas	Acesso a aulas gravadas, leitura da bibliografia sugerida e revisão	Exposição de conteúdo, resolução de problemas	Atenção e participação		Computador, telefone celular ou similar, acesso à internet
9º	Resolução de problemas	Acesso a aulas gravadas, leitura da bibliografia sugerida e revisão	Exposição de conteúdo, resolução de problemas	Atenção e participação		Computador, telefone celular ou similar, acesso à internet

10°	Primeira Avaliação	Lista de exercícios e revisão do material disponível	-----	Avaliação on-line	40%	Computador, telefone celular ou similar, acesso à internet
11°	Processos Reversíveis e Irreversíveis / Corolários: 2° Lei para Ciclos Termodinâmicos	Acesso a aulas gravadas, leitura da bibliografia sugerida e revisão	Exposição de conteúdo, resolução de problemas	Atenção e participação		Computador, telefone celular ou similar, acesso à internet
12°	Escalas de temperatura Kelvin e internacional / Desempenho máx. para ciclos entre 2 reservat. / Ciclo de Carnot e Desigualdade de Clausius / Definições de variação de entropia	Acesso a aulas gravadas, leitura da bibliografia sugerida e revisão	Exposição de conteúdo, resolução de problemas	Atenção e participação		Computador, telefone celular ou similar, acesso à internet
13°	Varição de entropia para uma substância incomp. / Varição de entropia de um gás ideal / Varição de entropia em proc. Int. reversíveis	Acesso a aulas gravadas, leitura da bibliografia sugerida e revisão	Exposição de conteúdo, resolução de problemas	Atenção e participação		Computador, telefone celular ou similar, acesso à internet
14°	Balço de entropia para sistemas fechados e para Volumes de controle / Processos isentrópicos / Eficiência isentrópica de turbinas, bocais, compressores e bombas	Acesso a aulas gravadas, leitura da bibliografia sugerida e revisão	Exposição de conteúdo, resolução de problemas	Atenção e participação		Computador, telefone celular ou similar, acesso à internet
15°	Introdução aos sistemas térmicos de potência	Acesso a aulas gravadas, leitura da bibliografia sugerida e revisão	Exposição de conteúdo, resolução de problemas	Atenção e participação		Computador, telefone celular ou similar, acesso à internet
16°	Eficiências e rendimentos de sistemas e de seus diferentes componentes	Acesso a aulas gravadas, leitura da bibliografia sugerida e revisão	Exposição de conteúdo, resolução de problemas	Atenção e participação		Computador, telefone celular ou similar, acesso à internet
17°	Segunda Avaliação	Acesso a aulas gravadas, leitura da bibliografia sugerida e revisão	-----	Avaliação on-line	40%	Computador, telefone celular ou similar, acesso à internet
	Avaliação via ferramentas de interatividade <i>socrative</i>			Participação via enquetes	20%	Computador, projetor e WiFi

Avaliação

Aulas Teóricas:

Avaliação através de provas e atividades de participação.

A nota será composta da seguinte forma:

		$MS = P1 \times 0,4 + P2 \times 0,4 + AC \times 0,2$		
Prova teórica 1	(40%)	} $MS > 5,0 \rightarrow MS=MF$	Aprovado	
Prova teórica 2	(40%)		} $3,0 < MS < 5,0$	Recuperação
Avaliação contínua	(20%)			$MF = 5$ se $5 \leq MR \leq (10 - MS)$
		$MF = (MS + MR) / 2$ se $MR > (10 - MS)$	Aprovado	
		$MF = MS$ se $MR < 5$	Reprovado	

MS = Média do semestre

MF = Média Final

MR = Média da recuperação

Bibliografia

Básica:

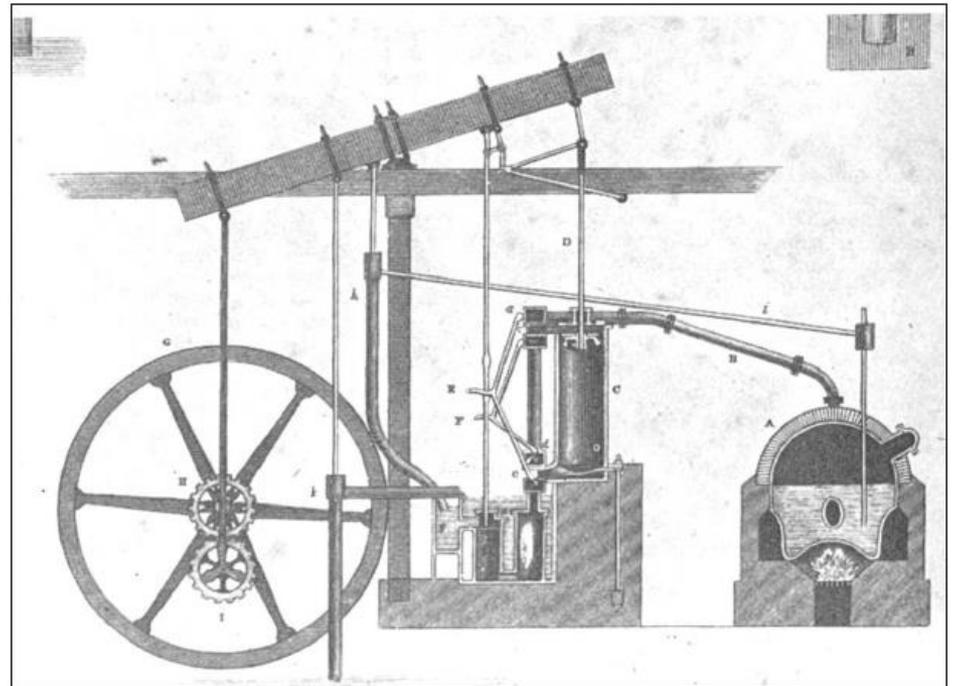
1. M. J. Moran e H. N. Shapiro. **Princípios de Termodinâmica para Engenharia.** (7ª. edição), Editora LTC, Rio de Janeiro, 2014.
2. G. J. Van Wylen, R. E. Sonntag e C. Borgnakke, **Fundamentos da Termodinâmica Clássica.** (4ª. edição), Editora Edgard Blücher Ltda, 1995.
3. ÇENGEL, Y.A., Boles, M. A. **Termodinâmica.** (7ª. edição), Editora McGrawHill, São Paulo, 2013.

Introdução



- Do grego, therme = calor, dynamis = potência

Reflete os esforços em converter calor em trabalho mecânico



Calorimetria



Em 1593 na cidade de Florença Galileo Galilei propôs a construção de um termômetro sendo este um dos primeiros esforços para quantizar a temperatura.

Ele registrava mudanças de temperatura pela elevação e queda das bolas de vidro no interior de tubos com água.

Termometria

HISTÓRIA

Termometria: tentativas de medir o grau de calor.

Invento do termómetro: Robert Fludd, Cornelius Drebbel, Santorio

1624 – J. Leurechon descreve um termómetro de ar. Seus defeitos foram levantados por Pascal (1648) e Boyle (1662)

1632 - Jean Rey: primeira menção a um termómetro de líquido

1694 – Renaldini: pontos fixos - a fusão do gelo e a ebulição da água

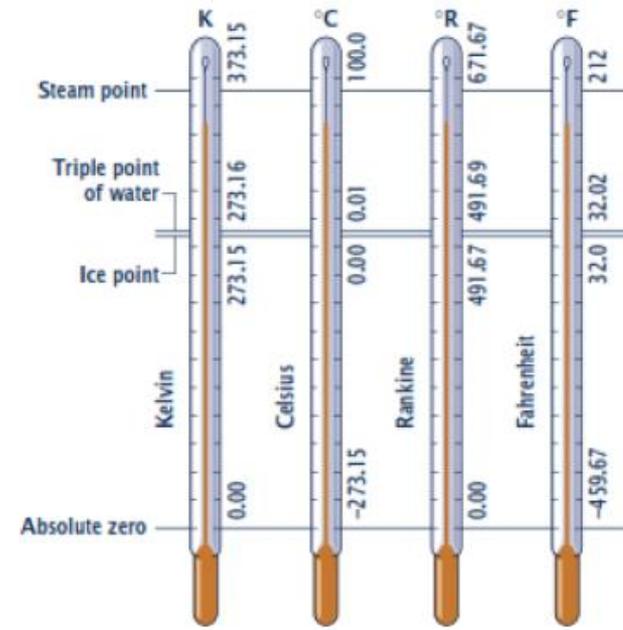
1708 - Ole Römer e Daniel Fahrenheit. Termómetros com dois pontos de referência e o emprego do mercúrio como líquido termométrico

1743 – J.P. Christin e Andres Celsius: termómetro de mercúrio com a escala centígrado. Adoptada mais tarde pela Comissão de Pesos e

Medidas criada pela revolução francesa em 1794

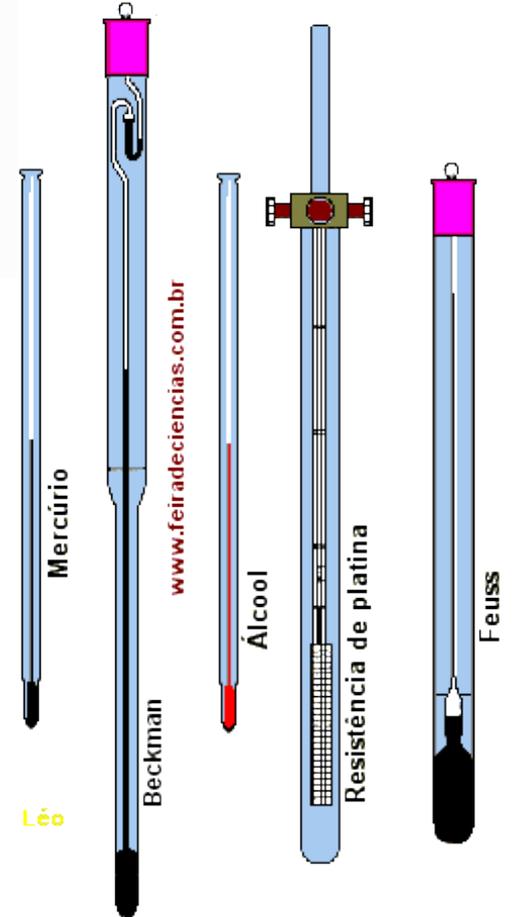
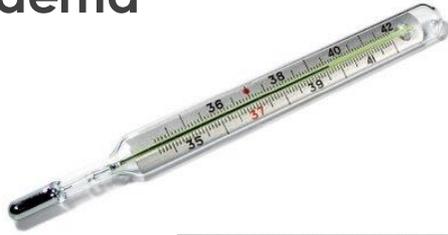
Temperatura

- Surgiu com base na noção de frio e calor
- Macroscopicamente é difícil de ser definida, mas, podemos dizer que se dois corpos estão em equilíbrio térmico eles têm a mesma temperatura. Se dois corpos estão em equilíbrio térmico com um terceiro corpo, todos os corpos estão em equilíbrio térmico (Lei zero da Termodinâmica)
- Microscopicamente descreve a “agitação das moléculas” – Energia cinética



Termometria

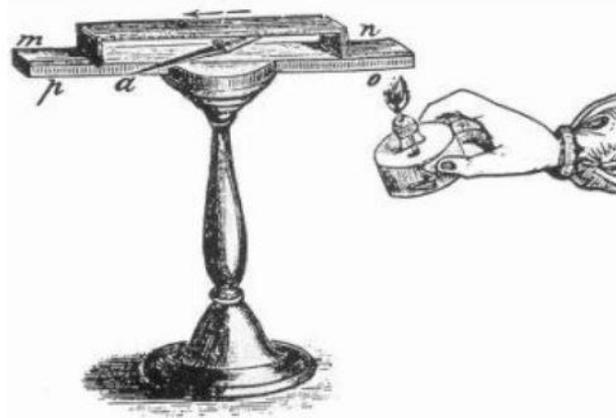
Termometria moderna



Termometria

Termopares:

Seu princípio de funcionamento é baseado no efeito Seebeck (**Thomas Johann Seebeck**), que observou que a junção entre duas ligas metálicas de constituição diferente geram um diferencial de tensão (Força Eletromotriz Térmica). Posteriormente Peltier observou que o efeito contrário também é válido.

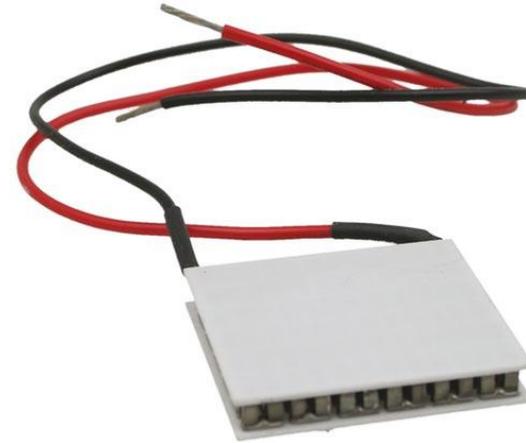
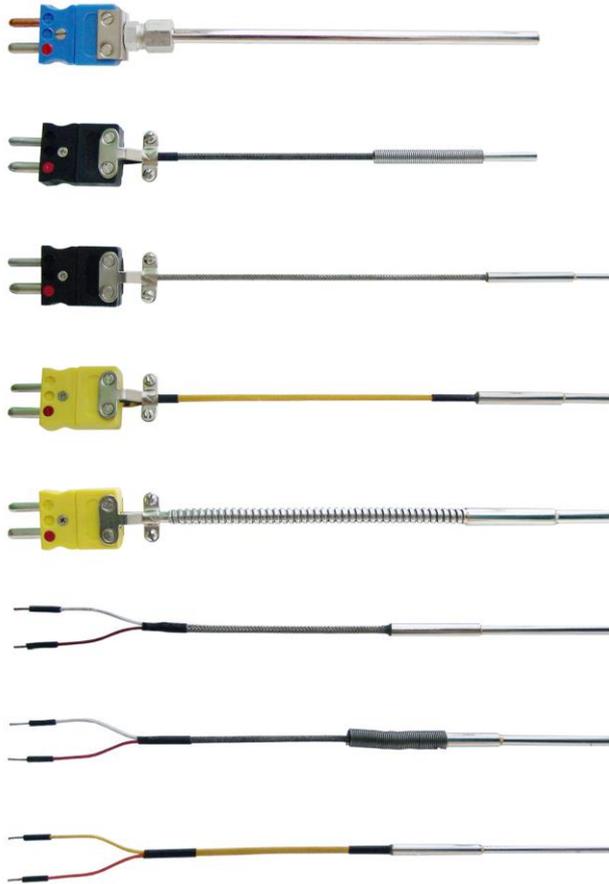


Seebeck's instrument (*left*) and its experimental use (*right*)



Termometria

Tipos de Termopares:



Tipo de Termopar	Faixa de Temperatura	
T	0 a 350°C	±1°C ou ±0,75%
J	0 a 750°C	±2,2°C ou ±0,75%
E	0 a 900°C	±1,7°C ou ±0,5%
K	0 a 1250°C	±2,2°C ou ±0,75%
Se R	0 a 1450°C	±1,5°C ou ±0,25%
B	800 a 1700°C	±0,5%
T	-200 a 0°C	±1°C ou ±1,5%
E	-200 a 0°C	±1,7°C ou ±1%
K	-200 a 0°C	±2,2°C ou ±2%

Calor

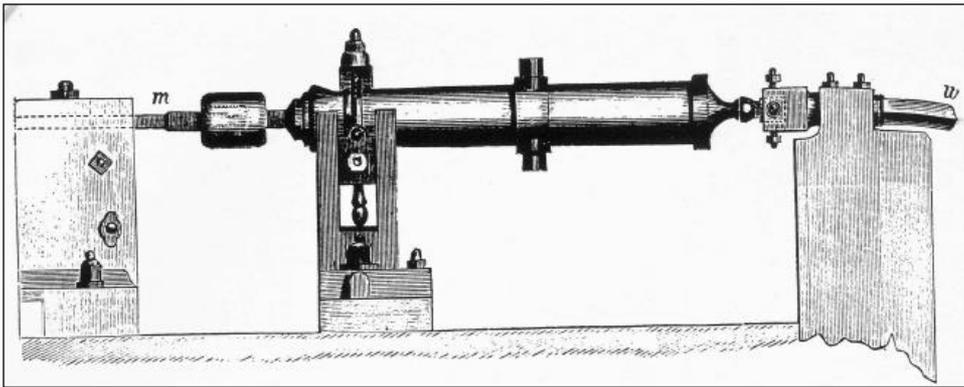
Natureza do Calor:

Teoria do calórico: o calor como um fluido imponderável: Pierre Gassendi (astrónomo e filósofo francês), Lavoisier e Bertholet (químicos franceses), William Thomson (Lord Kelvin), William Cleghorn (Edimburgh, 1779)

Mecanicistas: o calor resulta do movimento das partículas: Francis Bacon e Robert Hooke

1798 - Benjamin Thompson (conde Rumford): observa a produção de calor na perfuração dos canos para canhões (calor gerado pela fricção). Suas experiências forneceram um argumento contra a hipótese do calórico.

Percebeu que enormes quantidades de calor eram geradas por atrito entre os torneadores e os canos metálicos das armas



Rumford concluiu que o calor devia ser uma forma de movimento

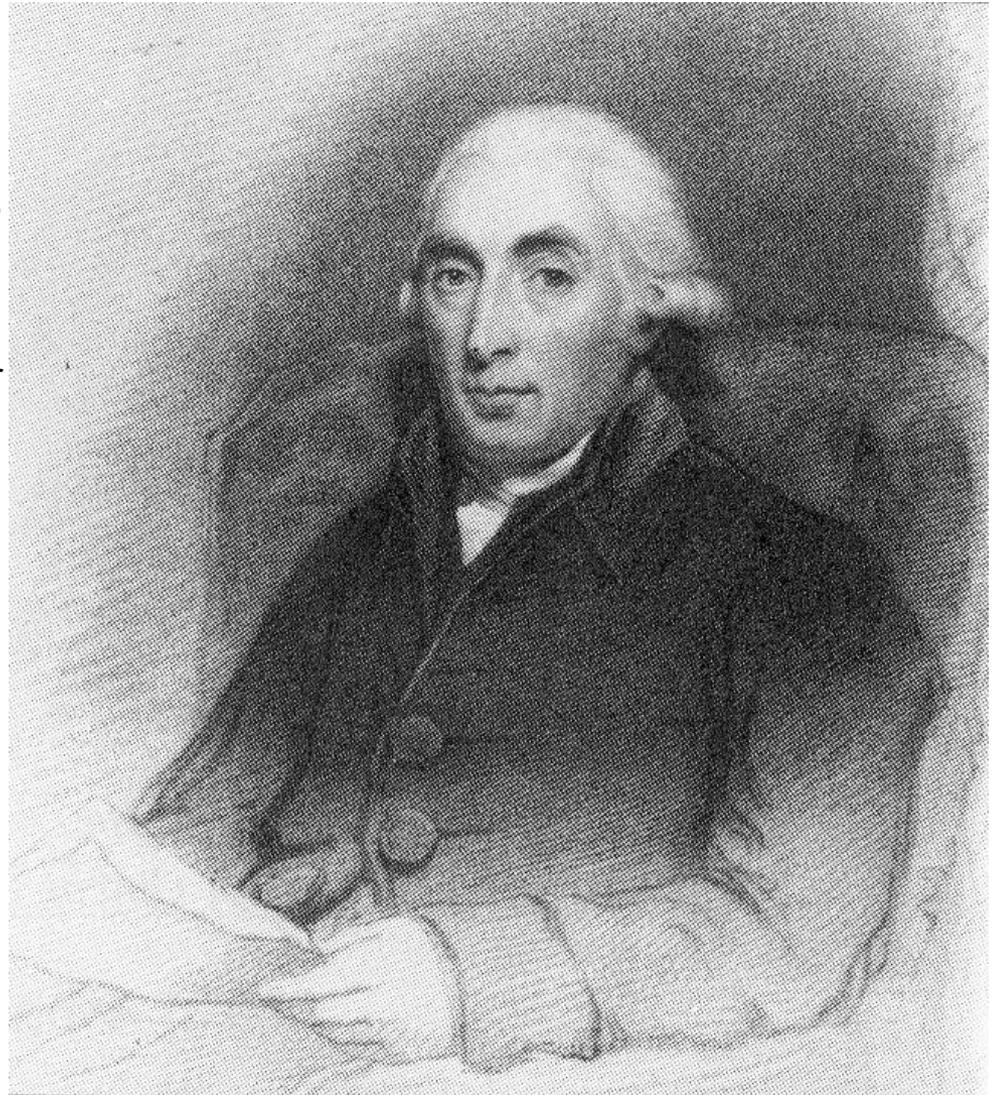
Calor

Natureza do Calor:

1760 - **Joseph Black**: no estudo da fusão do gelo descobre a noção de calor latente. Ele fez a distinção entre temperatura e calor.

Black achava que a capacidade térmica era a quantidade de calor que uma substância pode reter.

Começa a idéia de distinguir calor latente e calor sensível



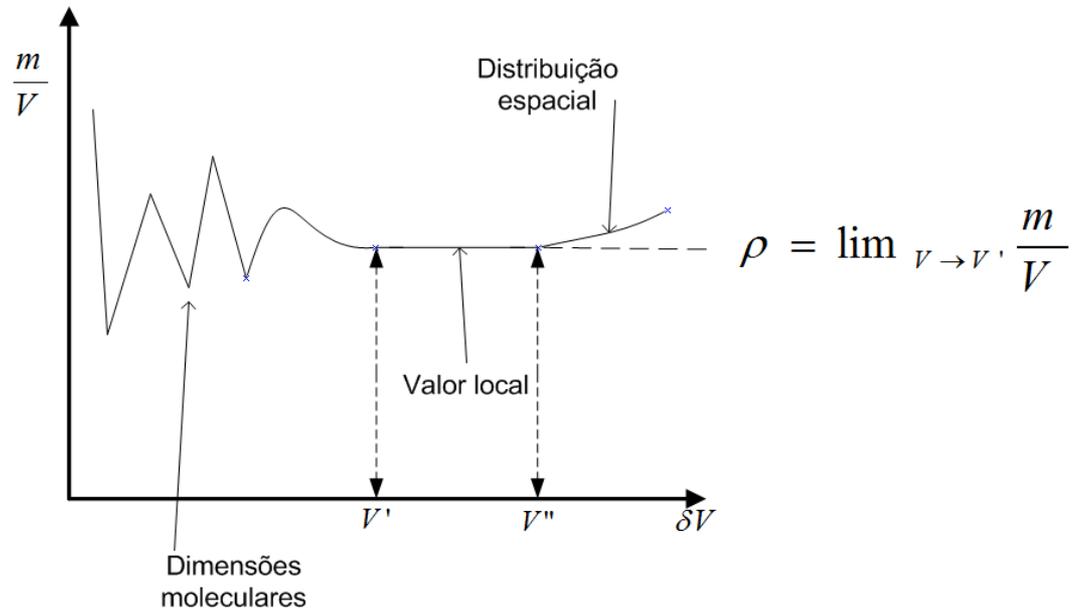
Definição moderna de termodinâmica

- Enrico Fermi (1901-1954) definiu a Termodinâmica Clássica como:
“Ramo da mecânica que descreve o estado de um sistema com um número elevado de partículas (átomos, moléculas) com base no comportamento médio das partículas”.



Termodinâmica Clássica

Hipótese do contínuo é a abordagem adotada que descreve a mecânica dos fluidos clássica; assume-se que qualquer propriedade de um fluido tem valor definido em cada ponto de espaço. Portanto propriedades dos fluidos tais como a densidade, temperatura, velocidade... são consideradas funções contínuas do espaço e do tempo.



Contexto / Escala

Em que contexto/Escala

A abordagem termodinâmica que vamos utilizar é macroscópica e não se interessa diretamente com os mecanismos moleculares (hipótese do contínuo)

- Estrutura de átomos e moléculas -> Explica comportamento de moléculas e corpos sólidos baseado nas leis do movimento e propriedades das partículas
- Mecânica estatística -> Liga propriedades das moléculas com propriedades macroscópicas
- Termodinâmica -> Macroscópica e não se interessa diretamente com os mecanismos moleculares (hipótese do contínuo)

Complexidade da descrição microscópica -> 3 posições e 3 velocidades 6 elevado a n variáveis

Leis da termodinâmica

Leis da termodinâmica - Base

Termodinâmica é baseada em leis

Na Termodinâmica, cada lei implica na definição de uma nova propriedade:

- lei zero ➡ temperatura
- 1ª lei ➡ energia interna
- 2ª lei ➡ entropia
- 3ª lei ➡ zero absoluto

Elas são derivadas de generalizações de observações ➡ independem das hipóteses microscópicas!

Utilização da Termodinâmica

A termodinâmica é aplicada em diversas áreas de engenharia:

Motores de automóveis

Turbinas

Compressores e Bombas

Usinas de força movidas a combustível fóssil e nuclear

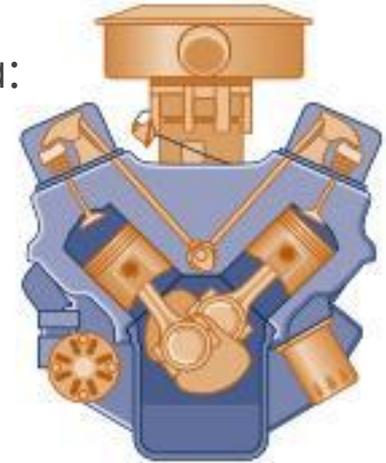
Sistemas de propulsão de aeronaves e foguetes

Sistemas de combustão

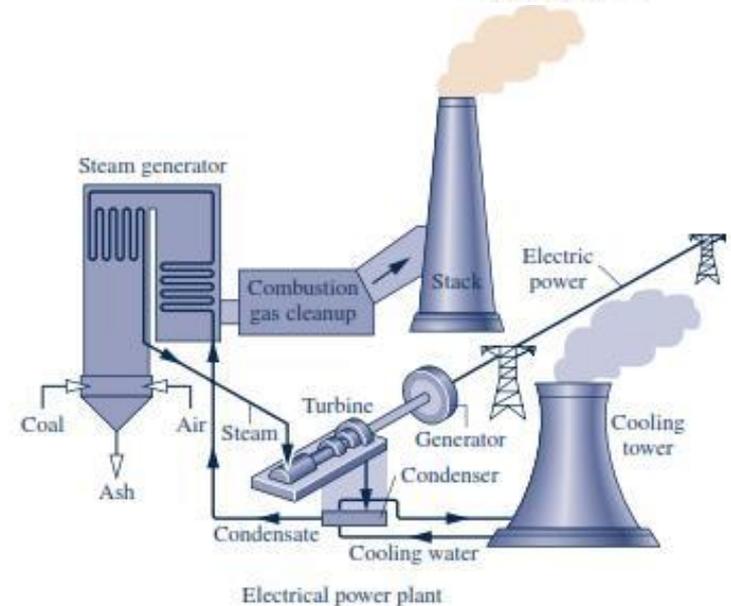
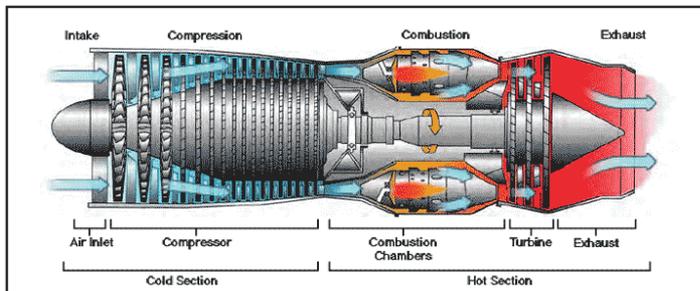
Sistemas de aquecimento e resfriamento

Sistemas de energia alternativos

Aplicações biomédicas



Vehicle engine



Definições de Sistema

Definição de sistema

- O sistema delimita a região de estudo
 - Com a definição de sistema temos a definição de vizinhança e a fronteira
 - Objetivo
 - Definir/identificar interações com a vizinhança
 - Aplicar leis da física
 - Forma e volume podem ser constantes ou não

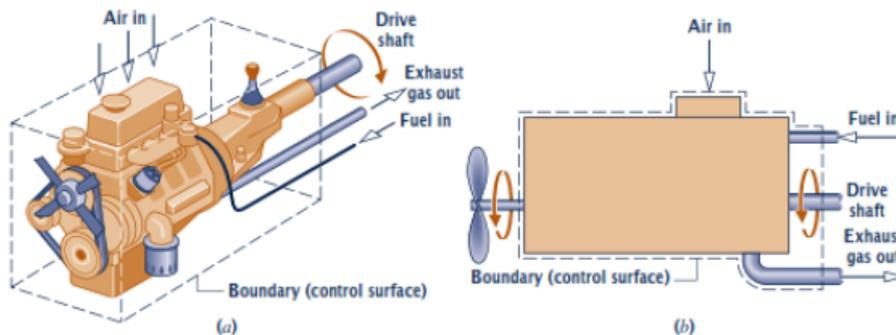
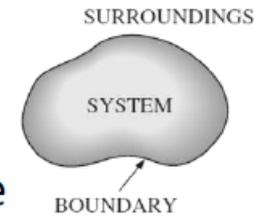


Fig. 1.2 Example of a control volume (open system). An automobile engine.

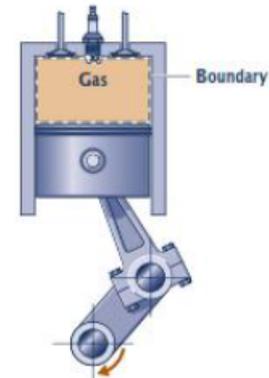
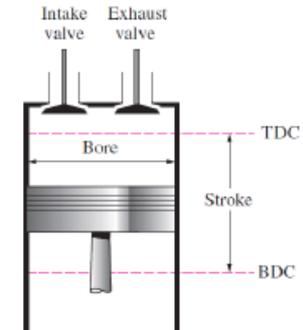
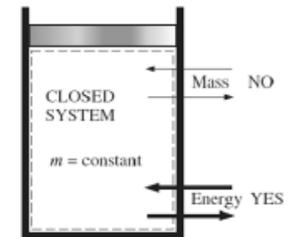


Fig. 1.1 Closed system: A gas in a piston-cylinder assembly.

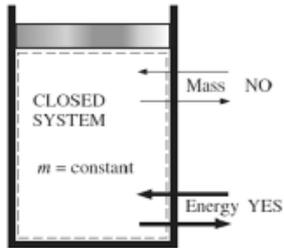
Definições de Sistema

Definição de sistema

- Tipos de sistema:
 - O sistema Fechado (“massa de controle”)
 - fronteira impermeável
 - Define uma quantidade de matéria
 - Volume de controle (sistema aberto)
 - massa pode atravessar a fronteira

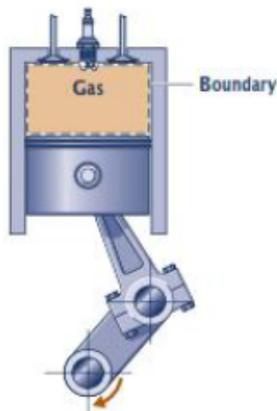


Definições de Sistema



Definição de sistema

- Sistema Fechado (“massa de controle”)
 - Sempre contem a mesma matéria
 - Não existe transferência de massa pelas fronteira
 - O sistema isolado, que não interage com a vizinhança é um caso especial de sistema fechado



Ex. Pistão com as válvulas fechadas:

- massa não atravessa o volume
- Pode ocorrer transferência de calor
- Reações podem ocorrer e mudar a natureza dos gases

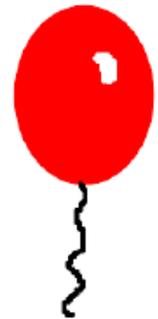
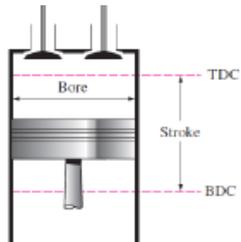


Fig. 1.1 Closed system: A gas in a piston-cylinder assembly.

Definições de Sistema



Definição de sistema

- Volume de controle (sistema aberto)
 - Existe transferência de massa pelas fronteiras
 - Bastante usado para análises de engenharia (parece mais fácil delimitar uma região do espaço)

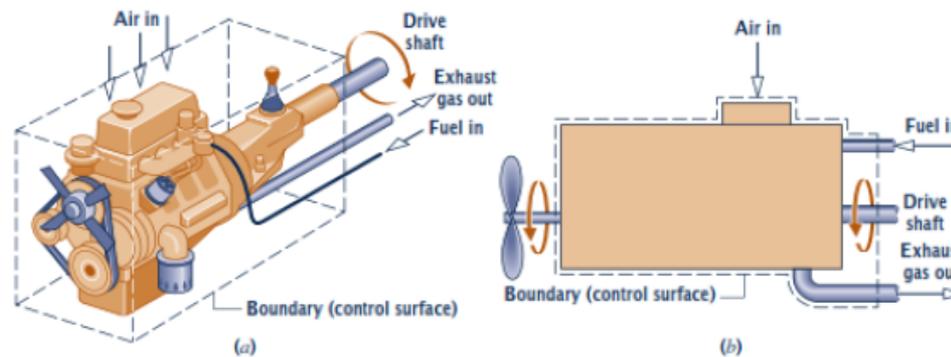


Fig. 1.2 Example of a control volume (open system). An automobile engine.

Caso (a) e (b) tem pequena diferença

Definições de Sistema

Definição de sistema

- Volume de controle (sistema aberto)
 - Exemplos “BIO”

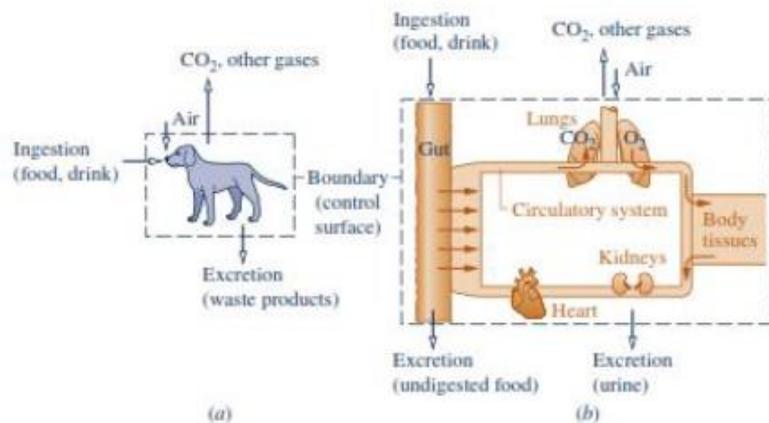


Fig. 1.3 Example of a control volume (open system) in biology.

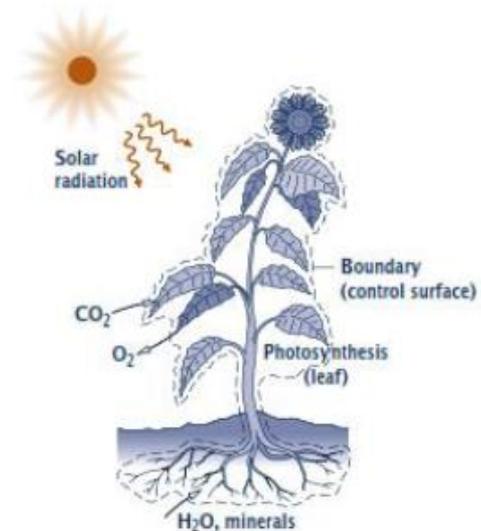


Fig. 1.4 Example of a control volume (open system) in botany.

Definições de Sistema

Definição de sistema

- Selecionando as fronteiras do sistema
 - Buscar escolher a mais conveniente para uma dada análise, isso depende:
 - do objetivo da análise
 - do que se conhece nas fronteiras

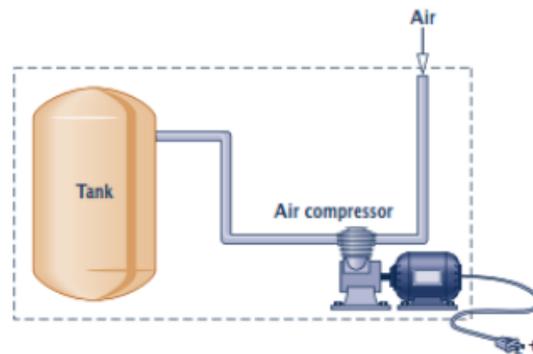


Fig. 1.5 Air compressor and storage tank.

Determinar a potencia elétrica para levar o tanque de P_1 para P_2

O volume poderia considerar somente o compressor se as condições do ar na entrada e na saída do compressor for conhecida

Propriedades

A propriedade de uma substância é algo intrínseco e mensurável; as propriedades podem ser divididas em dois grandes grupos:

Extensivas (dependem do tamanho ou da extensão do sistema)

Ex. Massa, volume, energia...

Intensivas: (seus valores são independentes do tamanho ou da extensão de um sistema)

Ex. Volume específico, pressão, temperatura...

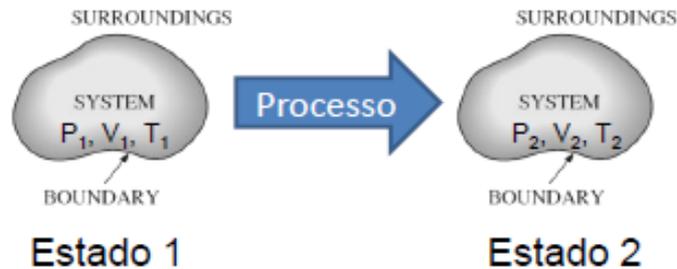
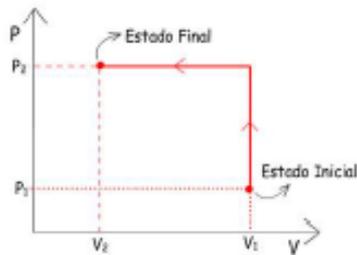
Uma **propriedade** é uma característica macroscópica de um sistema, tal como massa, volume, energia, pressão e temperatura, para as quais um valor numérico pode ser atribuído em um dado tempo sem o conhecimento do comportamento prévio (*história*) do sistema.

Estado

- O **estado** refere-se à condição de um sistema como descrito pelas suas propriedades.
- Posteriormente no estudo das análises de estado vamos ver que o estado de uma substância pura é descrito por duas propriedades intensivas distintas quando o sistema está em equilíbrio.
- Para descrevermos um sistema precisamos conhecer suas propriedades e como elas se correlacionam sendo o valor numérico independente do histórico do sistema
- O termo Estado é referente a um conjunto de propriedades de um sistema (independe do processo)

Processo

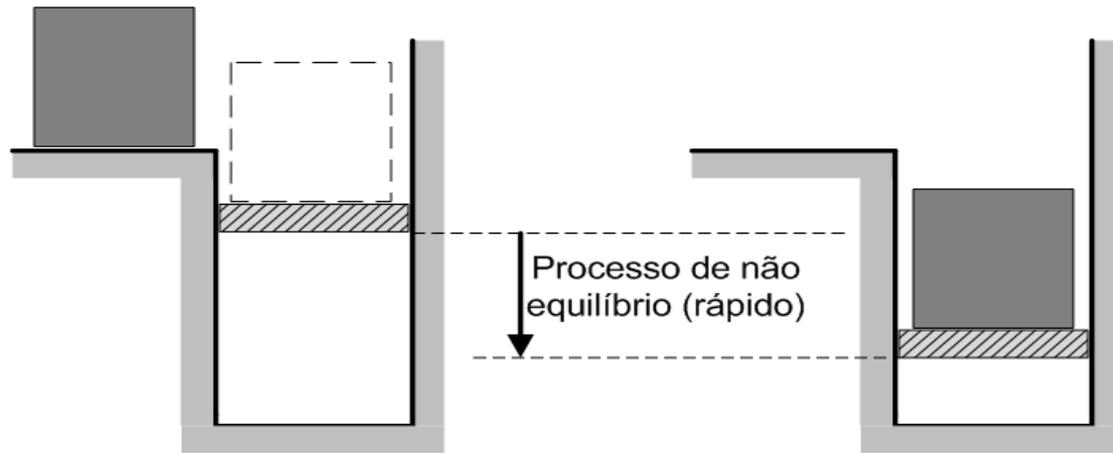
– Mudança entre estados de equilíbrio -> Processo -> reversível ou irreversível (Mistura, Transferência Calor)



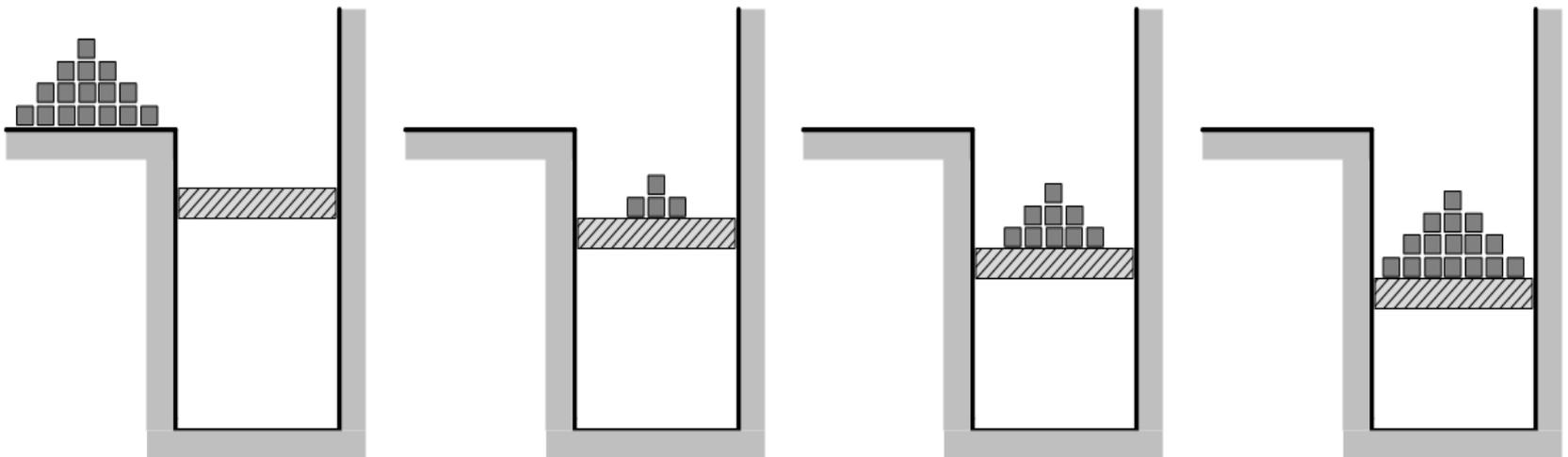
– O **processo** descreve uma mudança de estado para outro, no entanto, no entanto se um sistema exibe o mesmo valor de suas propriedades em dois tempos distintos, e ele possui o mesmo estado nestes tempos (não há mudanças em suas propriedades), é dito que o sistema está em **regime permanente**.

– Por último um ciclo termodinâmico é uma sequência de processos que se inicia e termina em um mesmo estado

Processo

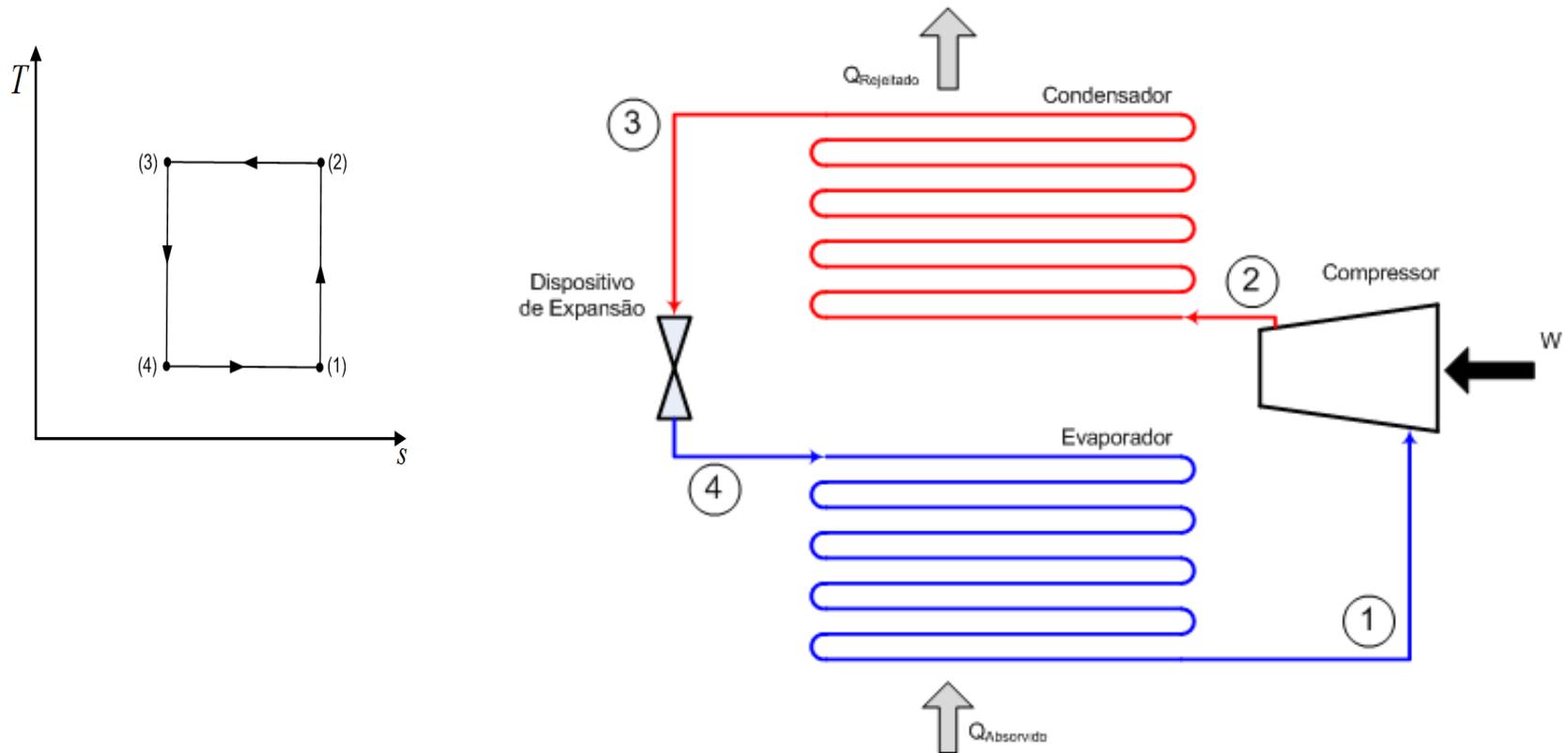


Processo quase estático (lento)



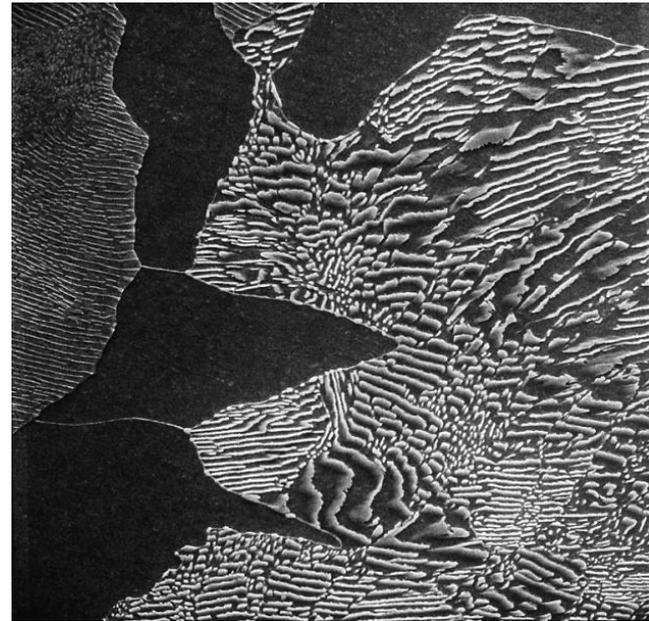
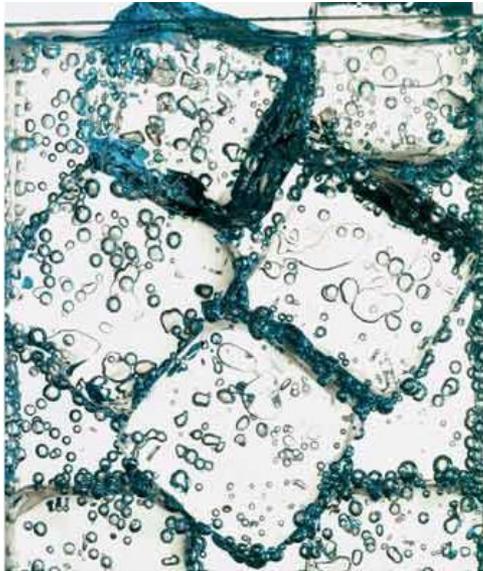
Ciclo Termodinâmico

– Por último um ciclo termodinâmico é uma sequência de processos que se inicia e termina em um mesmo estado



Definições

- O sistema pode ser homogêneo ou heterogêneo (mais de uma fase).
 - Fase -> Porção homogênea do sistema com características físicas e químicas uniformes
 - Substância pura -> Porção cuja composição química é uniforme e invariável



Definições

Parede adiabática: é um conceito de isolante ideal, ou seja não permite trocar calor com a vizinhança. Quando um sistema envolto numa parede adiabática sofre um processo, nenhuma interação térmica com a vizinhança é possível; esse tipo de processo é chamado de **processo adiabático**.

Processo isotérmico: é um processo que ocorre a temperatura constante

OBS: Um processo adiabático não é necessariamente um processo isotérmico nem um processo isotérmico é necessariamente adiabático

Sistema de unidades

Unidades Básicas Inglesas (English System ou Imperial System)

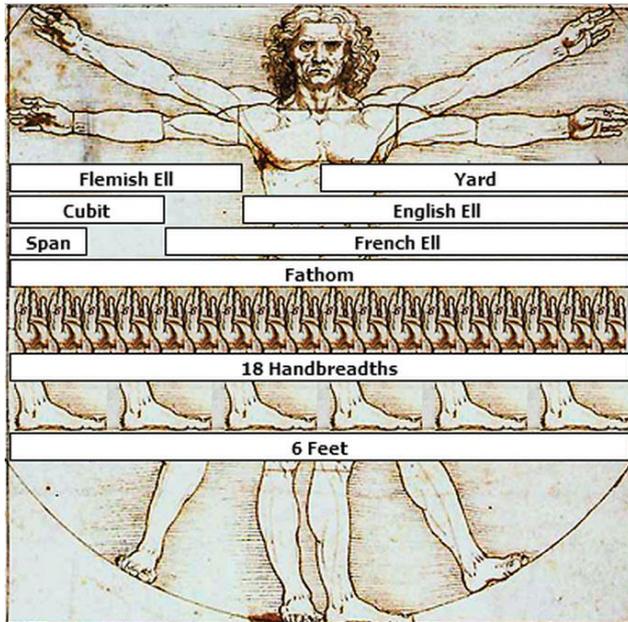
Polegada [in] = 2,54 cm

Pé [ft] = 12 in = 30,48 cm

Jarda [yd] = 3 ft = 91,44 cm

Milha [mi] m = 1,609347 km

Légua = 4.828,032 m



$$\text{potência} = \frac{\text{trabalho}}{\text{tempo}} = \frac{\text{força} \times \text{deslocamento}}{\text{tempo}}$$

Sistema de unidades

Sistema Internacional

Massa (Kg)

Tempo (s)

Comprimento (m)

Temperatura (K)

Pressão (Pa) (N/m^2)

Energia (J)

Potência (w)



SI

$$1 \text{ N} = (1 \text{ kg})(1 \text{ m}/\text{s}^2) = 1 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$$

Sistema Inglês

$$1 \text{ lbf} = (1 \text{ lb})(32.1740 \text{ ft}/\text{s}^2) = 32.1740 \text{ lb}\cdot\text{ft}/\text{s}^2$$

Massa específica

Quando utilizamos a hipótese do contínuo, podemos tratar de propriedades intensivas como “*em um ponto*”, a massa específica pode ser definida por:

$$\rho = \lim_{V \rightarrow V'} \left(\frac{m}{V} \right)$$

Unidades (kg/m³) (g/cm³) (lb/ft³)

A massa é uma propriedade extensiva que pode ser determinada através da integração da massa específica (que pode variar ponto a ponto) no volume de controle

$$m = \int_V \rho dV$$

Volume específico

Por fim o volume específico é definido como o inverso da massa específica:

$$v = \frac{1}{\rho}$$

Unidades \rightarrow (m³/Kg)(cm³/g)(ft³/lb)

Em certas aplicações é conveniente exprimir propriedades como o volume específico em uma base molar, em vez de uma base mássica. O mol corresponde a uma quantidade de uma determinada substância numericamente igual ao seu peso molecular.

$$n = \frac{m}{M}$$

Para assinalar que uma propriedade está em base molar, uma barra é utilizada acima do símbolo:

$$\bar{v} = Mv$$

Unidades \rightarrow (m³/Kmol)(ft³/lbmol)

Pressão

$$p = \lim_{A \rightarrow A'} \left(\frac{F_{normal}}{A} \right)$$

Definição de pressão

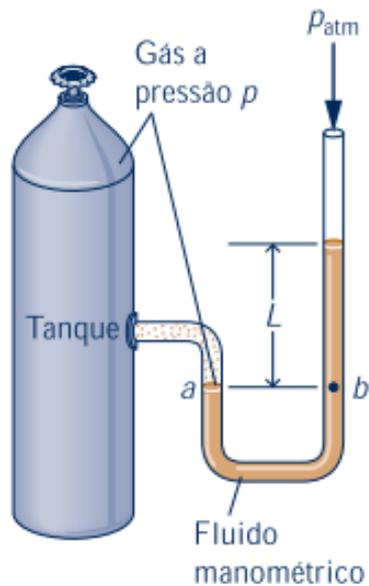


Fig. 1.7 Manômetro.

$$p_{absoluta} = p_{atm} + \underbrace{\rho g L}_{p_{manométrica}}$$

$p_{manométrica}$

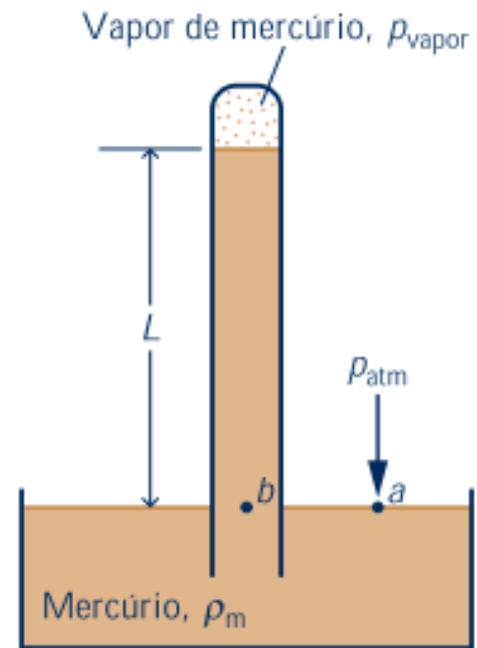


Fig. 1.8 Barômetro.

$$p_{atm} = p_{vapor} + \rho_m g L$$

Pressão

Um manômetro do tipo tubo de Bourdon é mostrado na Fig. 1.9. A figura apresenta um tubo curvo, que possui uma seção reta elíptica com uma extremidade associada à pressão que se deseja medir e outra conectada a um ponteiro por um mecanismo. Quando o fluido sob pressão preenche o tubo, a seção elíptica tende a se tornar circular e o tubo se torna reto. Esse movimento é transmitido pelo mecanismo ao ponteiro. Calibrando-se a deflexão do ponteiro para pressões conhecidas, uma escala graduada pode ser elaborada através da qual uma pressão aplicada pode ser lida em unidades convenientes. Devido à sua construção, o tubo de Bourdon mede a pressão relativa às vizinhanças do instrumento. Conseqüentemente, o mostrador indica zero quando as pressões interna e externa ao tubo são as mesmas.

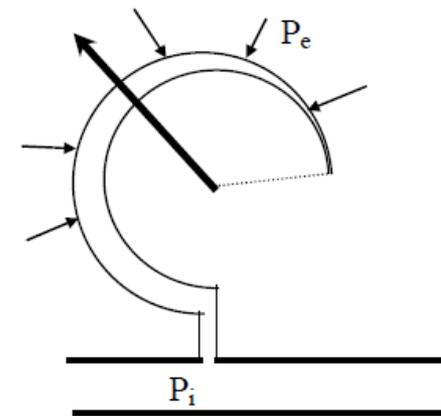
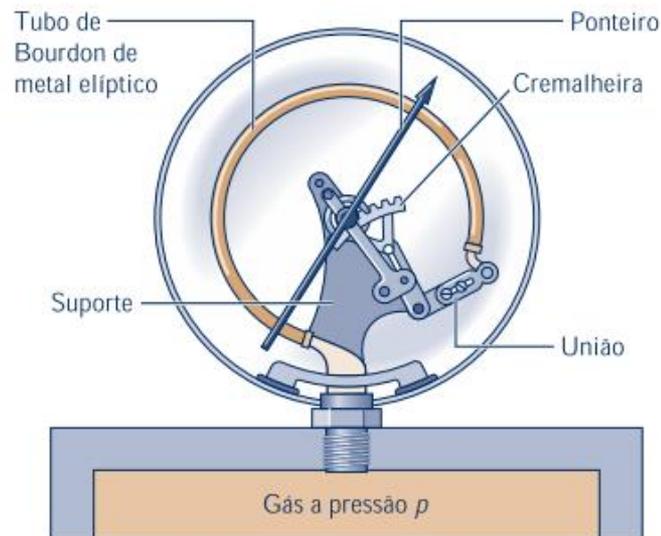


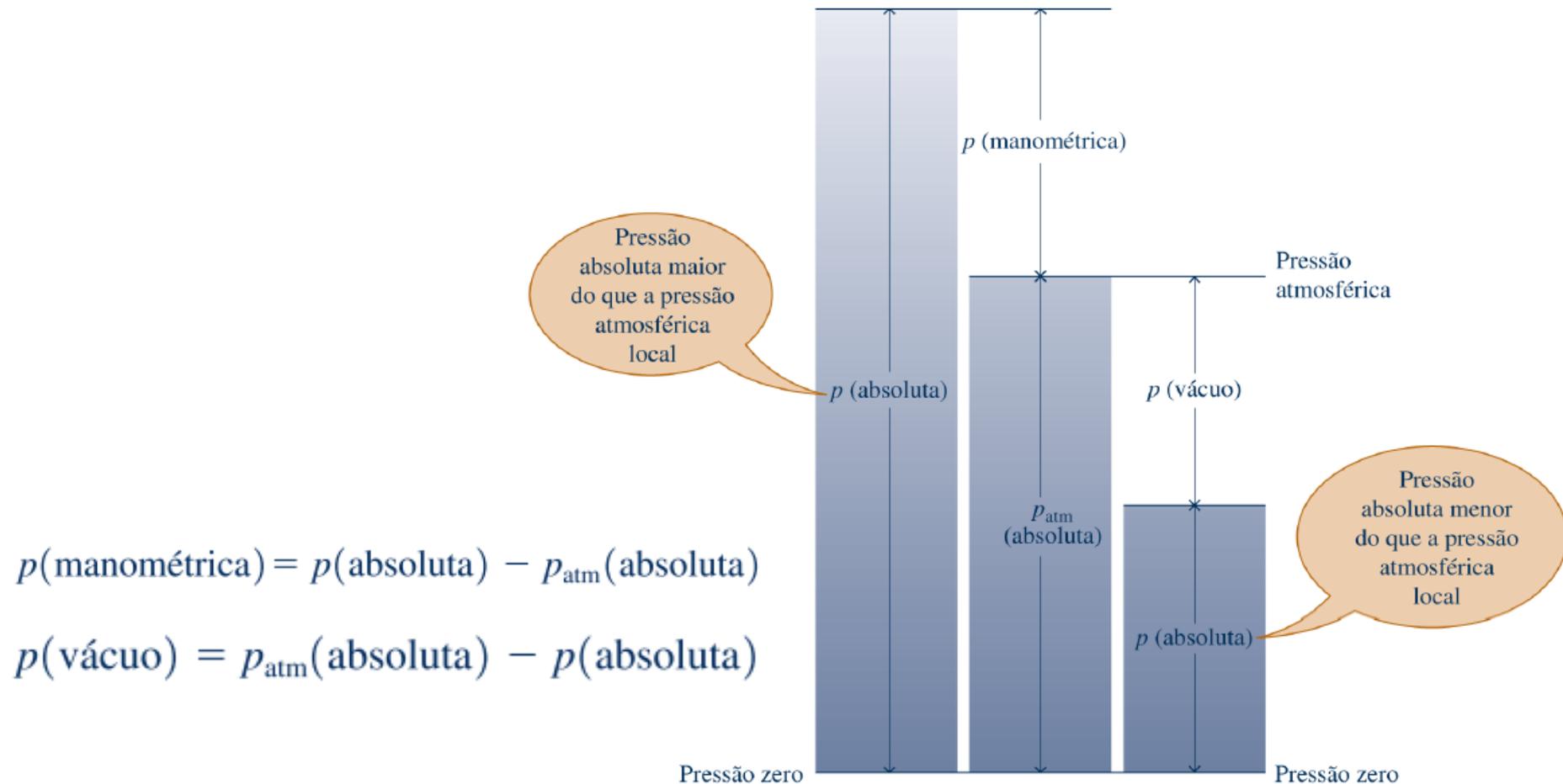
Fig. 1.9 Medição de pressão por um medidor do tipo tubo de Bourdon.

Pressão

- ▶ SI a unidade de pressão é o **pascal**:
 $1 \text{ pascal} = 1 \text{ N/m}^2$
- ▶ Múltiplos do pascal são frequentemente utilizados:
 - ▶ $1 \text{ kPa} = 10^3 \text{ N/m}^2$
 - ▶ $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N/m}^2$
 - ▶ $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ N/m}^2$
- ▶ Unidades inglesas para pressão:
 - ▶ Libra força por pé quadrado, **lbf/ft²**
 - ▶ Libra força por polegada quadrada, **lbf/in.²**

Temperatura

$$1 \text{ atmosfera padrão (atm)} = \begin{cases} 1,01325 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \\ 14,696 \text{ lbf/in}^2 \\ 760 \text{ mmHg} = 29,92 \text{ inHg} \end{cases}$$



$$p(\text{manom\u00e9trica}) = p(\text{absoluta}) - p_{\text{atm}}(\text{absoluta})$$

$$p(\text{v\u00e1cuo}) = p_{\text{atm}}(\text{absoluta}) - p(\text{absoluta})$$

Temperatura

- ▶ Escala Rankine (°R):

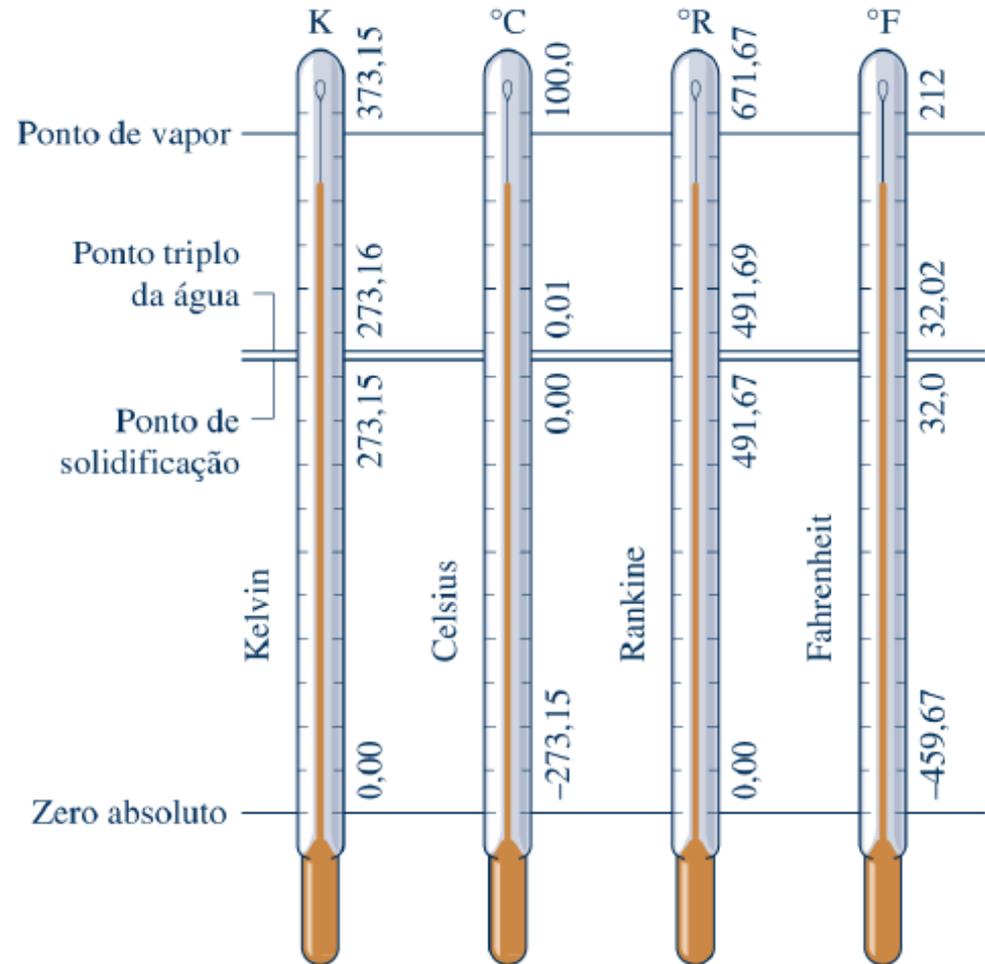
$$T(^{\circ}\text{R}) = 1.8T(\text{K})$$

- ▶ Escala Celsius (°C):

$$T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273.15$$

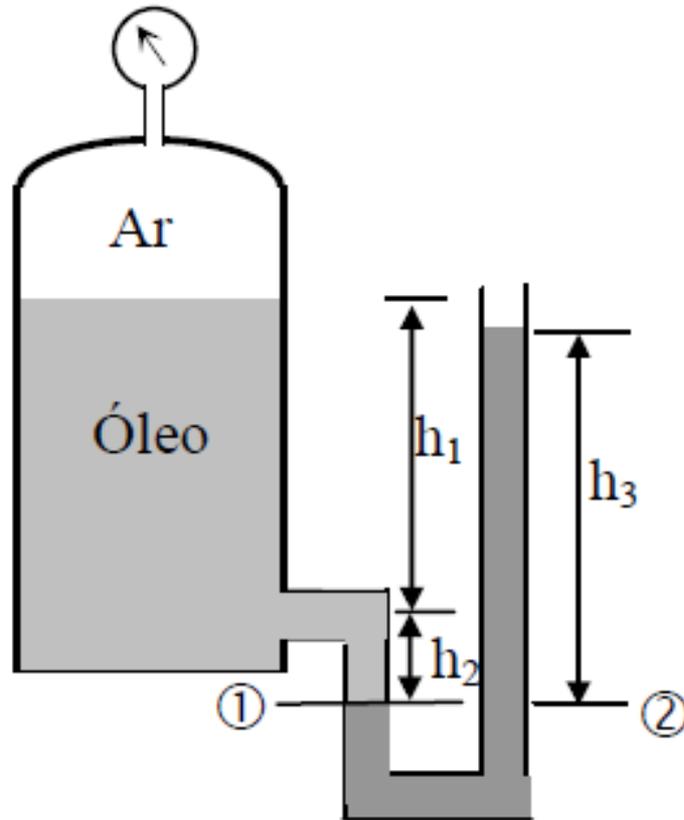
- ▶ Escala Fahrenheit (°F):

$$T(^{\circ}\text{F}) = T(^{\circ}\text{R}) - 459.67$$



Exercícios

Um tanque fechado contém ar comprimido e um óleo que apresenta massa específica de 900 kg/m^3 . O fluido utilizado no manômetro em “U” conectado ao tanque é mercúrio (massa específica de 13.600 kg/m^3). Se $h_1 = 914 \text{ mm}$, $h_2 = 152 \text{ mm}$ e $h_3 = 229 \text{ mm}$, determine a leitura do manômetro localizado no topo do tanque.



Exercícios

Dados

Figura esquemática

Hipóteses

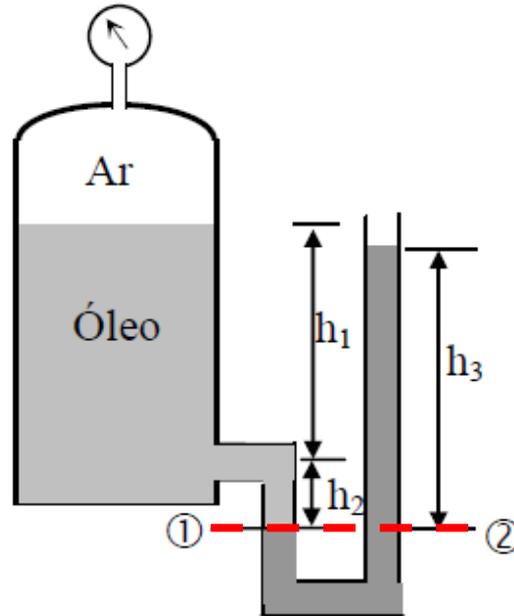
$$\rho_{\text{óleo}} = 900 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{Hg}} = 13.600 \text{ kg/m}^3$$

$$h_1 = 914 \text{ mm}$$

$$h_2 = 152 \text{ mm}$$

$$h_3 = 229 \text{ mm}$$



i) A seção 1-2 possui a mesma pressão

ii) A pressão exercida pelo fluido é $p_{\text{fluido}} = \rho g L$

Análise (Resolução)

$$\underbrace{p_{\text{absoluta}}}_{=} + \rho_{\text{óleo}} g (h_1 + h_2) = \cancel{p_{\text{atm}}} + \rho_{\text{Hg}} g h_3$$

$$= p_{\text{man.}} + \cancel{p_{\text{atm}}}$$

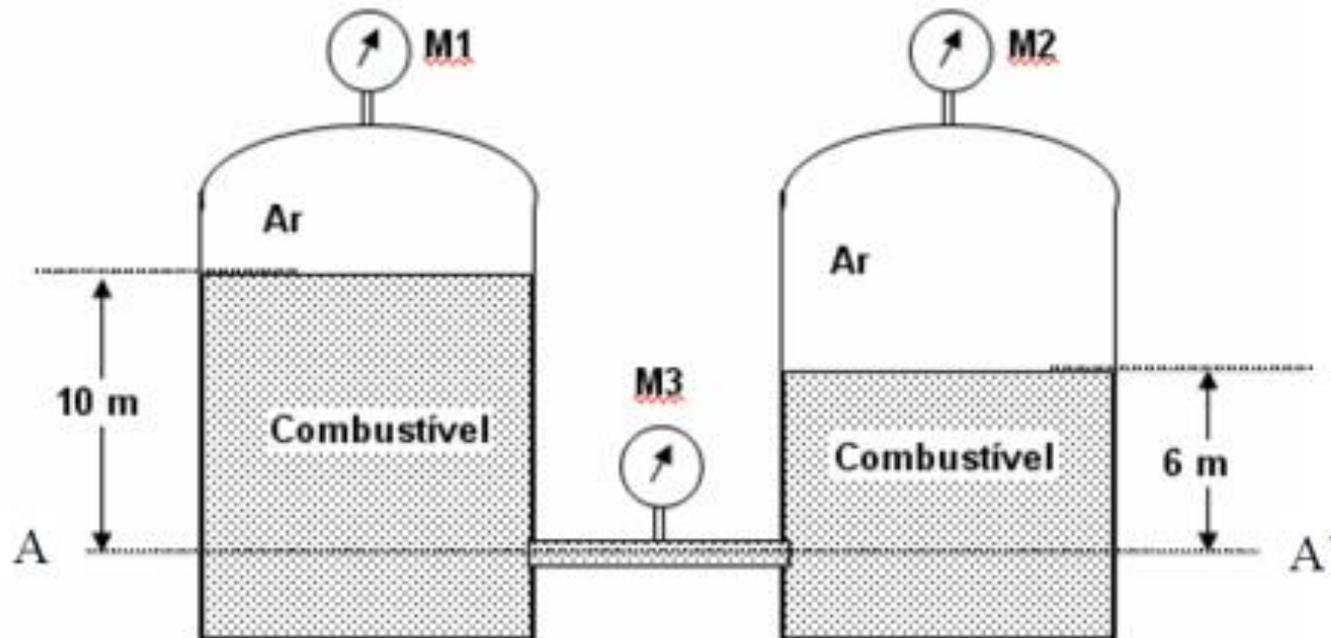
$$p_{\text{man}} = \rho_{\text{Hg}} g h_3 - \rho_{\text{óleo}} g (h_1 + h_2) = 13600 \cdot 9,8 \cdot 0,229 - 900 \cdot 9,8 \cdot (0,914 + 0,152)$$

$$p_{\text{man}} = 21,119 \text{ kPa}$$

Exercícios

Dois tanques de combustível pressurizados estão interconectados por uma tubulação conforme mostra a figura abaixo. Dado que o manômetro metálico $M1$ indica uma pressão de 40 kPa e que o peso específico do combustível é 7000 N/m^3 , determine.

- a pressão indicada pelo manômetro $M2$;
- a pressão indicada pelo manômetro $M3$.

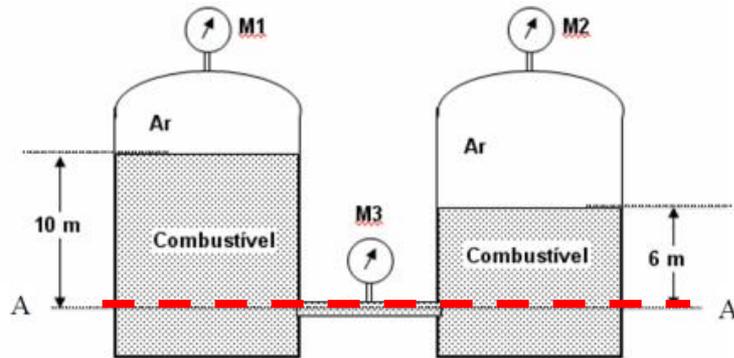


Exercícios

Dados

$$p_{1_man} = 40 \text{ kPa}$$
$$\rho_{comb} = 7000 \text{ kg/m}^3$$
$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$
$$h_1 = 10 \text{ m}$$
$$h_2 = 6 \text{ m}$$

Figura esquemática



Hipóteses

- i) A seção A-A' está submetida a mesma pressão
- ii) A pressão exercida pelo fluido é $p_{fluido} = \rho g L$

Análise a)

$$\underbrace{p_{1_absoluta}} + \rho_{com}g(10) = \underbrace{p_{2_absoluta}} + \rho_{com}g(6)$$

$$= p_{1_man} + \cancel{p_{atm}}$$

$$= p_{2_man} + \cancel{p_{atm}}$$

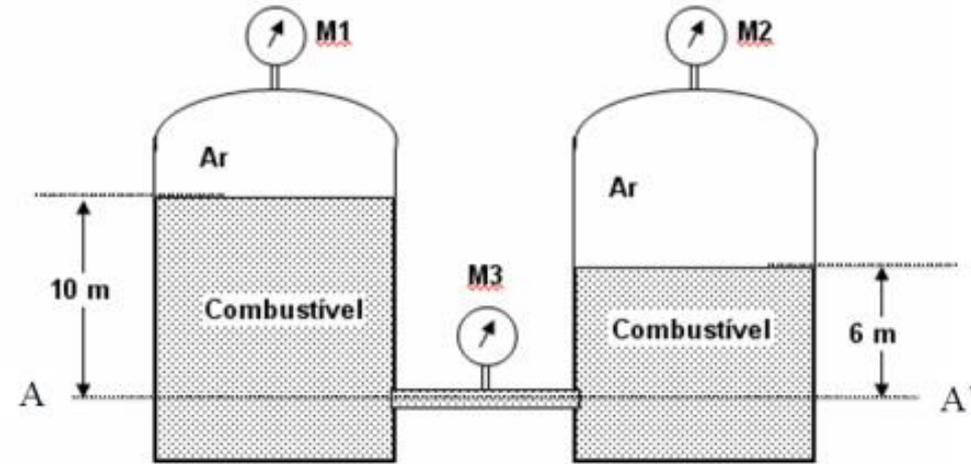
$$p_{2_man} = p_{1_man} + \rho_{com}g(10) - \rho_{com}g(6)$$

$$p_{2_man} = p_{1_man} + \rho_{com}g[(10) - (6)]$$

$$p_{2_man} = 40 \text{ kPa} + 28 \text{ kPa}$$

$$p_{2_man} = 68 \text{ kPa}$$

Exercícios



Análise b)

$$p_{3_absoluta} = p_{2_absoluta} + \rho_{com}g(6)$$

$$= p_{3_man.} + p_{atm}$$

$$= p_{2_man.} + p_{atm}$$

$$p_{3_man} = p_{2_man} + \rho_{com}g(6)$$

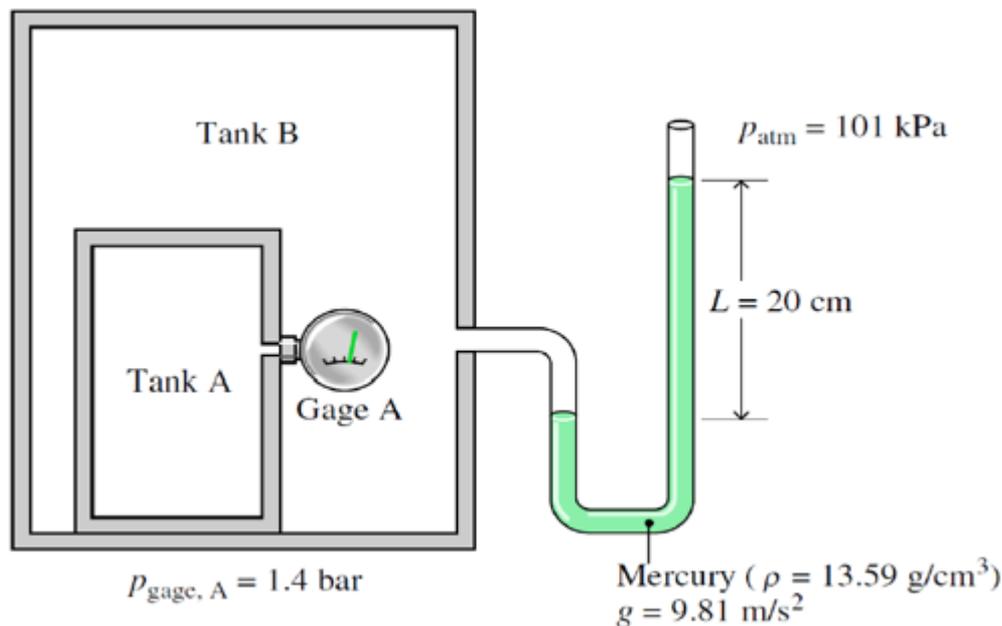
$$p_{3_man} = 68 \text{ kPa} + 42 \text{ kPa}$$

$$p_{3_man} = 110 \text{ kPa}$$

Exercícios

A figura mostra um tanque no interior de um outro, cada um contendo ar. O manômetro A está instalado no interior do tanque B e registra 140 kPa. O manômetro de tubo em U conectado ao tanque B contém mercúrio. Usando os dados do diagrama, determine a pressão absoluta no interior do tanque A, em kPa. A pressão atmosférica nas vizinhanças do tanque B é 101 kPa. Aceleração da gravidade é $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

- a) a pressão indicada pelo manômetro $M2$;
- b) a pressão indicada pelo manômetro $M3$.



Exercícios

Dados

$$p_{atm} = 101 \text{ kPa}$$

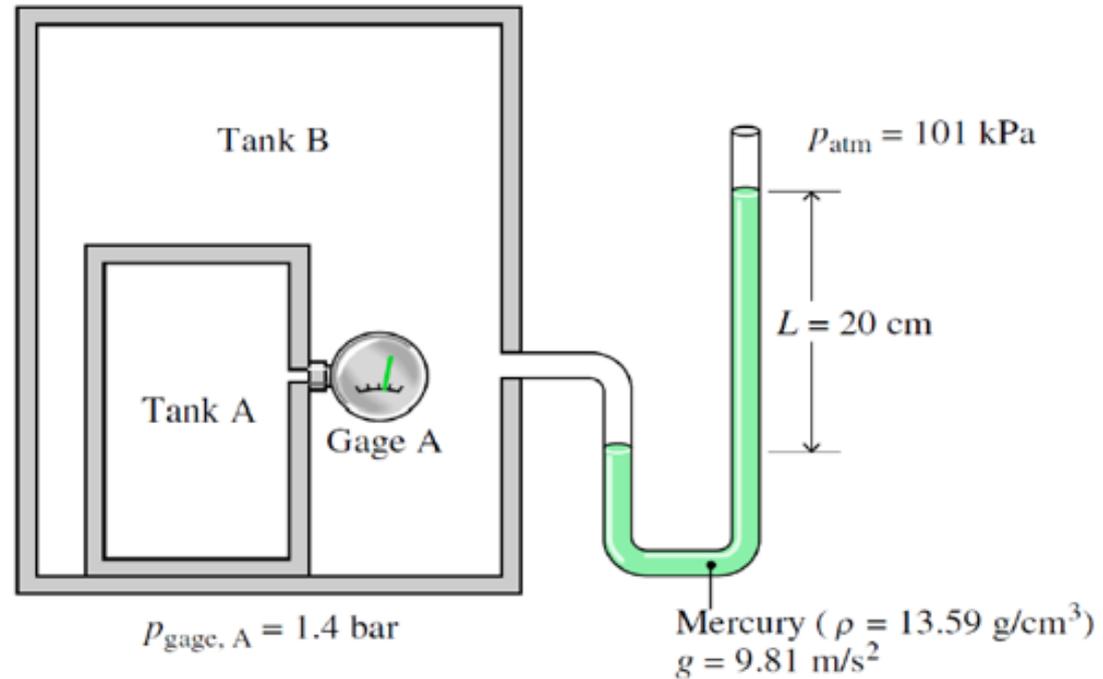
$$\rho_{Hg} = 13.590 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$L = 20 \text{ cm}$$

$$p_{A_man} = 140 \text{ kPa}$$

Figura esquemática



Hipóteses

- i) O manômetro de tubo em U está aberto à atmosfera;
- ii) A “pressão atmosférica” ou pressão de referência do tanque A equivale a pressão absoluta no tanque B.

Exercícios

- Análise de pressão absoluta no tanque B

$$p_{B_absoluta} = p_{atm} + \rho_{Hg}gL$$

$$p_{B_absoluta} = 101 \text{ kPa} + 13590 \cdot 9,81 \cdot (0,2)$$

$$p_{B_absoluta} = 127,66358 \text{ kPa}$$

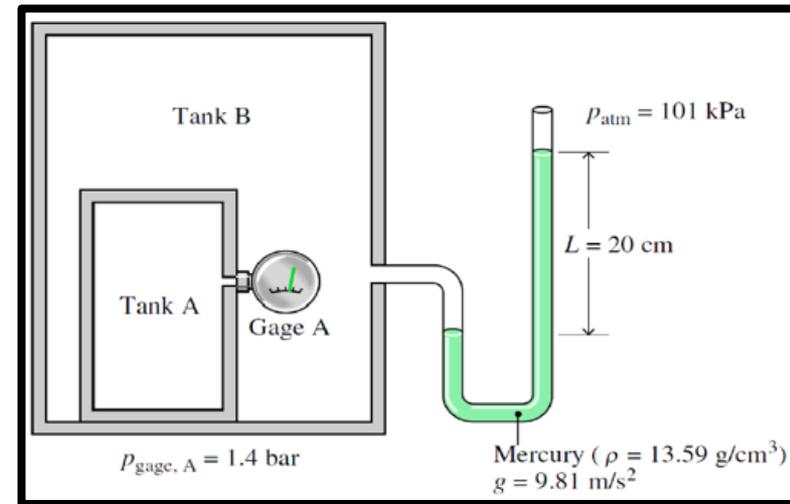
- Análise de pressão absoluta no tanque A

$$p_{A_absoluta} = p_{A_man} + p_{atm}$$

$$p_{atm} = p_{B_absoluta}$$

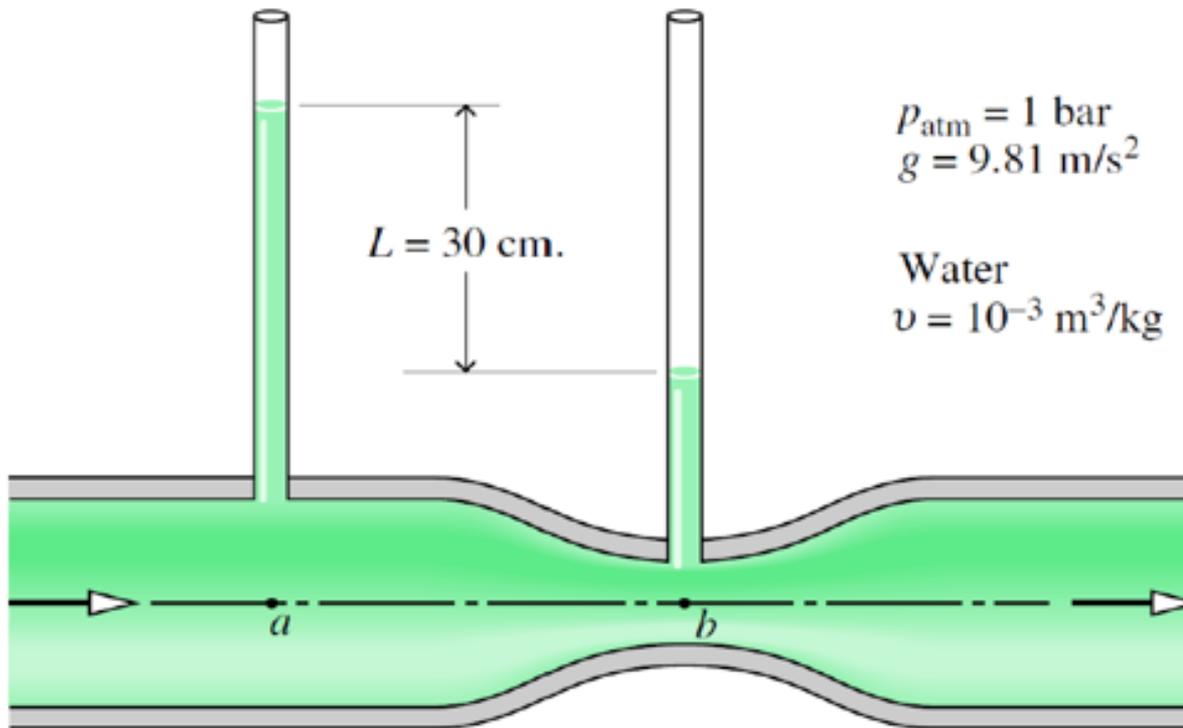
$$p_{A_absoluta} = p_{A_man} + p_{atm} + \rho_{Hg}gL$$

$$p_{A_absoluta} = 267,66358 \text{ kPa}$$

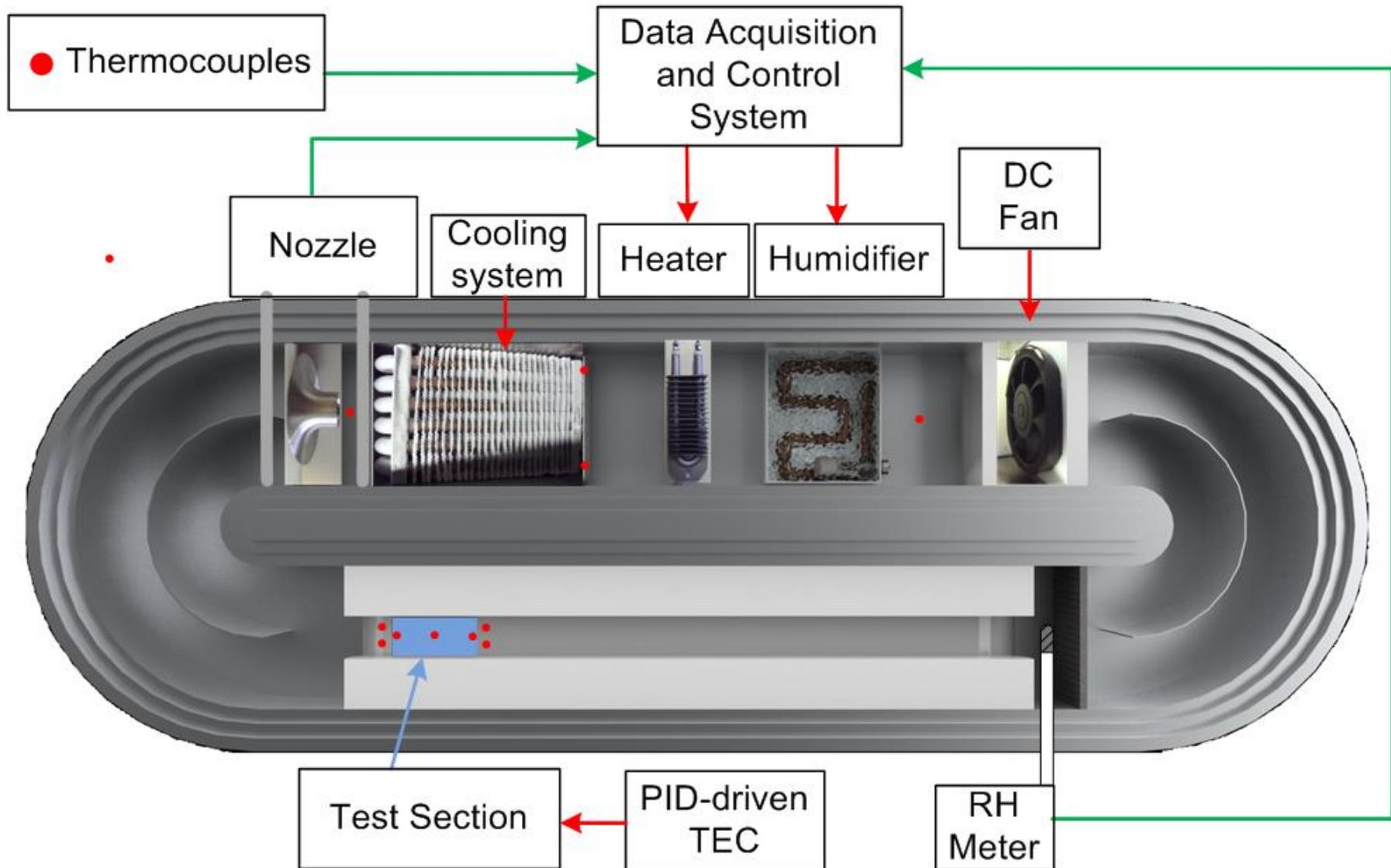


Exercícios

Água escoia através de um medidor Venturi, conforme ilustrado na figura. A pressão da água no tubo suporta colunas de água que diferem de $(0,3\text{ m})$. Determine a diferença de pressão entre os pontos a e b , em kPa . A pressão aumenta ou diminui na direção do escoamento? A pressão atmosférica é de 1 bar , o volume específico da água é de $0,001\text{ m}^3/kg$ e a aceleração da gravidade é $g = 9,81\text{ m/s}^2$.



Exemplo de aplicação



Exemplo de aplicação

A velocidade numa seção de testes de área 10mmX60mm é obtida através da medição de pressão diferencial efetuada por um transdutor de pressão diferencial (princípio de diafragma).

O transdutor faz a medida de pressão diferencial a montante e jusante de um bocal convergente normalizado.

Sabendo-se que a perda de pressão máxima suportada pelo aparelho é de 110Pa, pede-se que determine a máxima velocidade na seção de testes.

OBS: A medida de vazão é um método iterativo normalizado pela ASHRAE 51 (1999).

$$\dot{V} = 3600 C_d A_n Y \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_a (1 - \beta_b^4)}}$$

$$C_d = 0,9986 - \frac{7,006}{\sqrt{Re}} + \frac{134,6}{Re}$$

$$Y = 1 - (0,548 + 0,71\beta_b^4)(1 - \alpha_p)$$

$$\alpha_p = \frac{p_{atm}}{p_{atm} + \Delta p} \quad \beta_b = \frac{d}{D_h} \quad Re = \frac{1097}{60\mu_a} C_d d Y \sqrt{\rho_a \Delta p}$$

Dados:

$$P_{atm} = 101\text{kPa}$$

$$D_h = 0,2\text{m}$$

$$d = 0,0127 \text{ m (1/2")}$$

$$\mu = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ (Kg/m.s)}$$

$$\rho_{ar} = 1,12 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

