

Departamento de Engenharia Química e de Petróleo – UFF
TEQ -141 Sistemas de Instrumentação e Controle de Processos

Sistemas de Medição de Outras Variáveis Especiais de Processos

custo

Prof^a Ninoska Bojorge

Introdução

Considerando que a necessidade de atender às exigências de qualidade final (ou intermediária) de um processo industrial é cada vez maior e rigorosa. O controle de qualidade é exercido nestes processos, em grande parte, por análise químicas ou físicas e existe uma quantidade variada de instrumentos especiais para executá-las.

Existem diversos tipos de instrumentos especiais, dependendo do que se quer medir e, entre os de mesma finalidade, diversos princípios de funcionamento:

- pH metro;
- Densímetro;
- Viscosímetro;
- Condutivímetro;
- Analisador de percentagem de oxigênio

Instrumentos Especiais: pH metro

pH metro - definição de pH

“pH é um índice que representa o grau de alcalinidade ou de acidez de uma solução”. A medição de pH pode ser dividida de um modo geral em dois métodos:

- *Método de medida elétrica*
- *Método de medida pela comparação de cor.*

Na área industrial, utiliza-se o método de medição elétrica devido a sua facilidade de manipulação e facilidade na instrumentação.

A definição do pH é conforme a fórmula:

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$$

$$\text{pH} = -\log a_{\text{H}^+} \text{ : atividade do íon Hidrogênio}$$

difícil medir \Rightarrow medição comparativa com um líquido cujo pH já é conhecido.

Instrumentos Especiais: pH metro

pH metro - definição de pH

Por proposta de SORENSEN (físico- químico sueco) foi aceito o símbolo

pH : potencial hidrogeniônico.

Logo:

$$\text{pH} = \log \frac{1}{[\text{H}^+]}$$

ou

$$\text{pH} = \text{colog} [\text{H}^+]$$

Deste modo:

pH < 7	meio ácido
pH = 7	meio neutro
pH > 7	meio alcalino

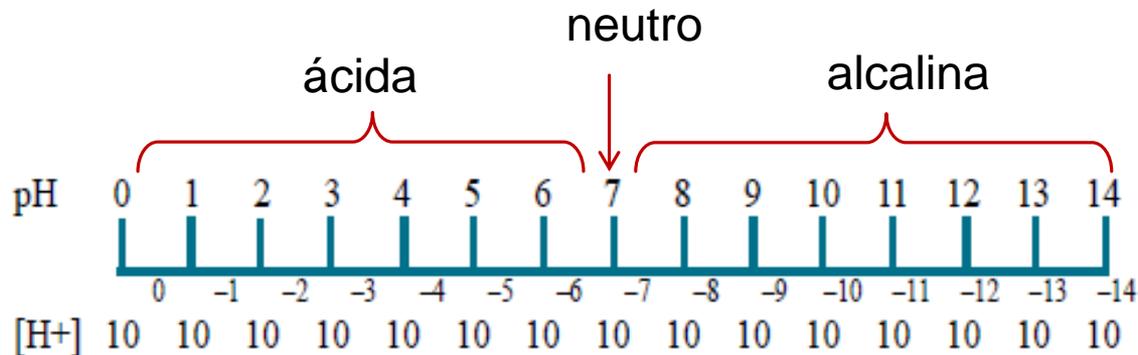
Analogamente, têm-se $\text{pOH} = \log 1/ [\text{OH}^-]$

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14$$

Instrumentos Especiais: pH metro

Medidor de pH - Definição de pH

Limites do pH:



O diagrama acima nos mostra que quanto maior for a acidez maior é a concentração do íon hidrogênio e menor o pH.

O inverso se passa com a alcalinidade.

No caso do método de eletrodo de vidro, calcula-se através de comparação com um líquido padrão.

Instrumentos Especiais: pH metro

- O pH é uma das medidas mais comuns de medição analítica na indústria, porque o pH tem um grande efeito sobre o resultado de muitos processos químicos. Exemplo:
 - ▶ Indústria de alimentos,
 - ▶ tratamento de água,
 - ▶ produção farmacêutica,
 - ▶ geração de vapor (termelétricas), e
 - ▶ Usina de álcool
- pH também é um fator significativo na corrosão de tubos metálicos e em navios que transportam soluções aquosas (à base de água), de modo de medição e controle de pH é importante no prolongamento da vida útil desses investimentos de capital.

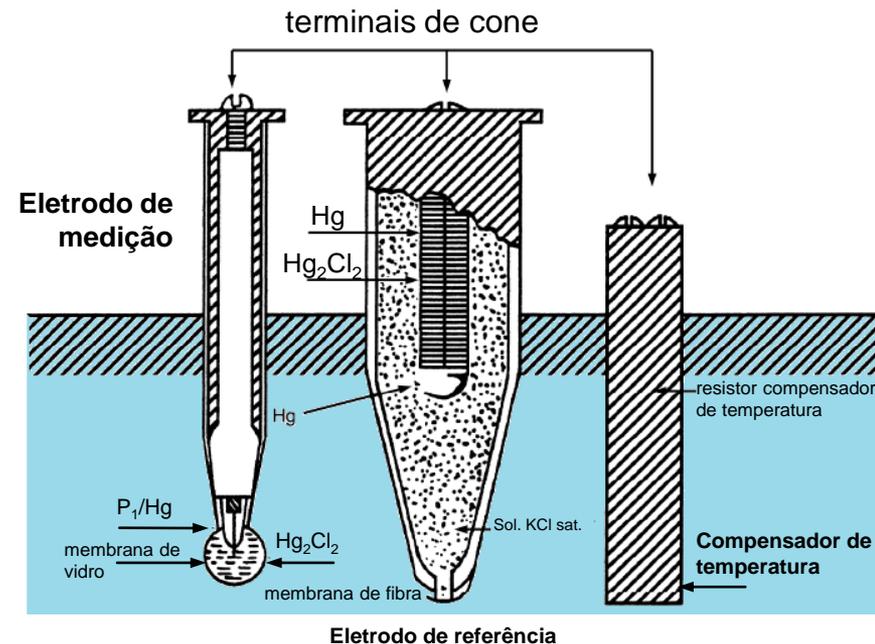
Instrumentos Especiais: pH metro

Princípio de funcionamento

Detector (elemento primário)

O pH metro consiste de 2 eletrodos, **um de medição** (eletrodo de vidro) imerso na **solução testada** e outro **de referência** imerso em uma solução de concentração **hidrogeniônica** constante e conhecida.

Estes eletrodos estão separados por uma membrana, a qual permite a passagem da corrente eletroquímica. A diferença de potencial entre os dois eletrodos indica o valor da solução testada, d.d.p a qual varia linearmente com o valor pH. Estes eletrodos estão numa câmara de fluxo, cuja finalidade é mantê-los constantemente imersos na solução testada.



Normalmente é incluído um terceiro eletrodo (resistência) na câmara de fluxo, cuja finalidade é compensação da variação de temperatura.

Instrumentos Especiais: pH metro

Equação de Nernst

$$V = \frac{RT}{nF} \ln\left(\frac{C_1}{C_2}\right)$$

V = Voltage produzido através da membrana devido a troca de ion, em volts (V)

R = Universal gas constant (8.315 J/mol·K)

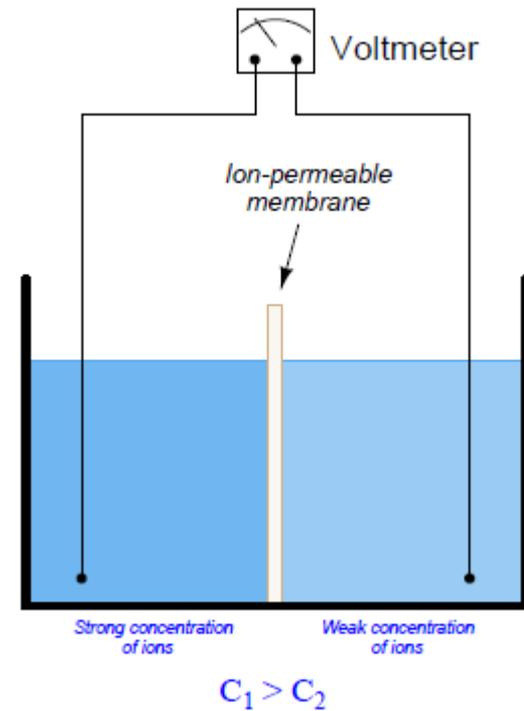
T = Temperatura Absoluta , (°K)

n = Numero de elétrons transferido por íon (adimens)

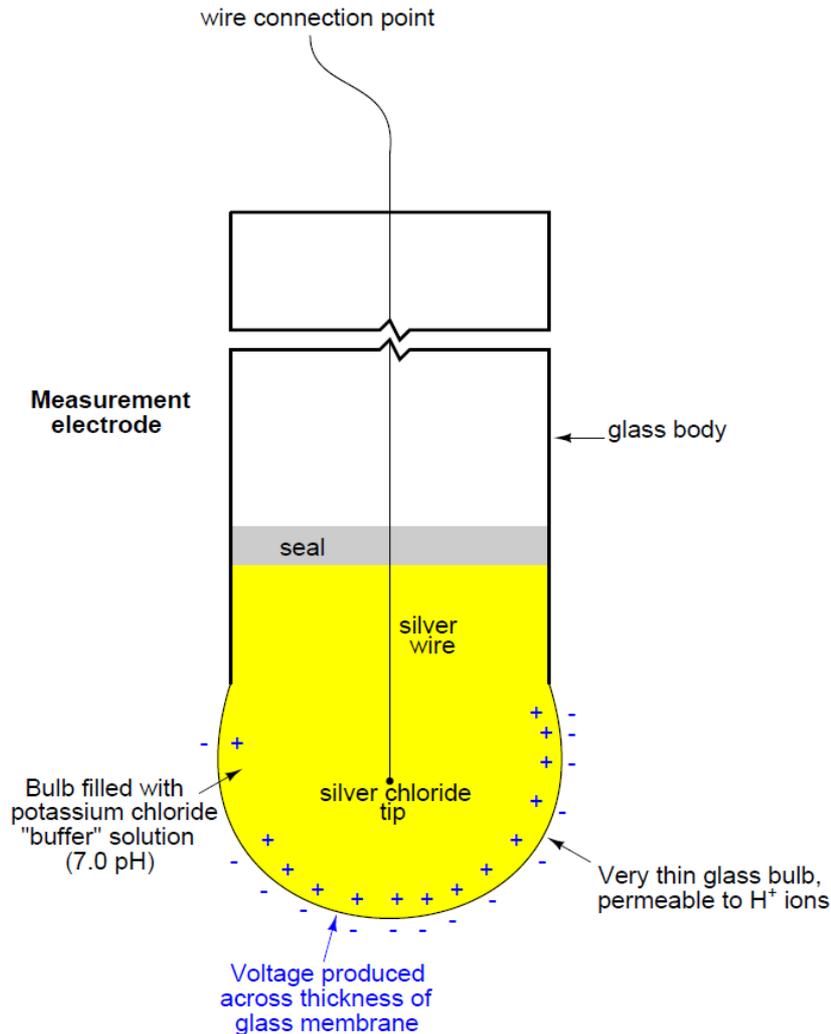
F = cte Faraday, em coulombs por mole (96485 C/mol e)

C₁ = Concentração de íon na solução medida, (M)

C₂ = Concentração de íon na solução referencia (do outro lado da membrana), (M)



Instrumentos Especiais: pH metro



$$V = \frac{2.303RT}{nF} \log \left(\frac{C_1}{C_2} \right)$$

$$V = \frac{2.303RT}{nF} (\log C_1 - \log C_2)$$

Sabemos que $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$

$$V = \frac{2.303RT}{nF} (-\text{pH}_1 - (-\text{pH}_2))$$

$$V = \frac{2.303RT}{nF} (\text{pH}_2 - \text{pH}_1)$$

$$V = \frac{2.303RT}{nF} (7 - \text{pH}_1)$$

Instrumentos Especiais: pH metro

Princípio de funcionamento

Receptor

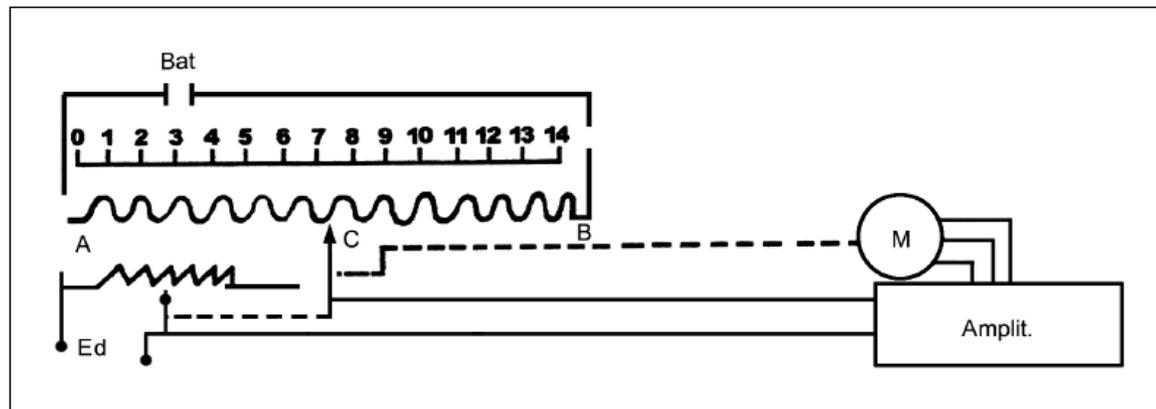
- O sinal emitido pelo conjunto de eletrodos é muito débil para movimentação de qualquer dispositivo de indicação, registro ou controle
- O sistema utilizado para detecção deste sinal, de modo a amplificá-lo sem deformações, é conhecido como sistema de balanço contínuo.
- O sistema de balanço contínuo baseia-se no princípio de potenciômetro, onde se efetua a comparação de tensões sem fluxo de corrente.
- O potenciômetro é um dispositivo para medida de d.d.p ou f.e.m de valor desconhecido, pela comparação desta f.e.m desconhecida, com uma f.e.m conhecida, fornecida por uma pilha padrão ou outra fonte de potencial padrão.

Circuito do potenciômetro

AB: resistência variável (*slide wire*)

C: contato central

Bat: Bateria q supre peq potencial cte.



Solução padrão de pH

A solução padrão de pH deverá ter como características:

- a) A menor diferença de potencial elétrico em relação ao KCL, a ponto de ser desprezível.
- b) Facilidade na fabricação da solução padrão pura.
- c) Grande força amortecedora.

⇒ **ácido Potássio Ftálico (solução padrão)**

Como o eletrodo de vidro possui a característica de perder a linearidade quando o ácido ou a alcalinidade se tornam fortes, torna-se necessário para fins de correção mais de duas soluções padrões com diferentes pH. A característica da temperatura da respectiva solução padrão é representada na seguinte tabela.

Instrumentos Especiais: pH metro

Solução padrão de pH

Temperatura 0°	Ácido oxático	Ácido ftálico	Ácido fosfórico neutro	Ácido bórico	Ácido carbônico	Solução de hidróxido de bório	Solução de hidróxido de cálcio saturado
0	1,67	4,01	6,98	9,46	10,32	13,8	13,4
5	1,67	4,01	6,95	9,39	(10,25)	13,6	13,2
10	1,67	4,00	6,92	9,33	10,18	13,4	13,0
15	1,67	4,00	6,90	9,27	(10,12)	13,2	12,8
20	1,68	4,00	6,88	9,22	(10,07)	13,1	12,6
25	1,68	4,01	6,86	9,18	10,02	12,9	12,4
30	1,69	4,01	6,85	9,14	(9,97)	12,7	12,3
35	1,69	4,02	6,81	9,10	(9,91)	12,6	12,1
38	–	–	–	–	9,91	–	–
40	1,70	4,03	6,81	9,07	–	12,4	12,0
45	1,70	4,04	6,83	9,01	–	12,3	11,8
50	1,71	4,06	6,83	9,01	–	12,2	11,7
55	1,72	4,08	6,81	8,99	–	12,0	11,6
60	1,73	4,10	6,81	8,96	–	12,9	11,4

Observações a serem feitas durante a medição

- A ponta do eletrodo de vidro é a parte vital, e deve estar permanentemente limpa (cuidado ao manuseá-lo).
- Quando o líquido não manuseado estiver sujo, o eletrodo também se sujará com facilidade, de modo que é necessário planejar a introdução de equipamento automático de lavagem e realizar limpezas periódicas.

Métodos de lavagem:

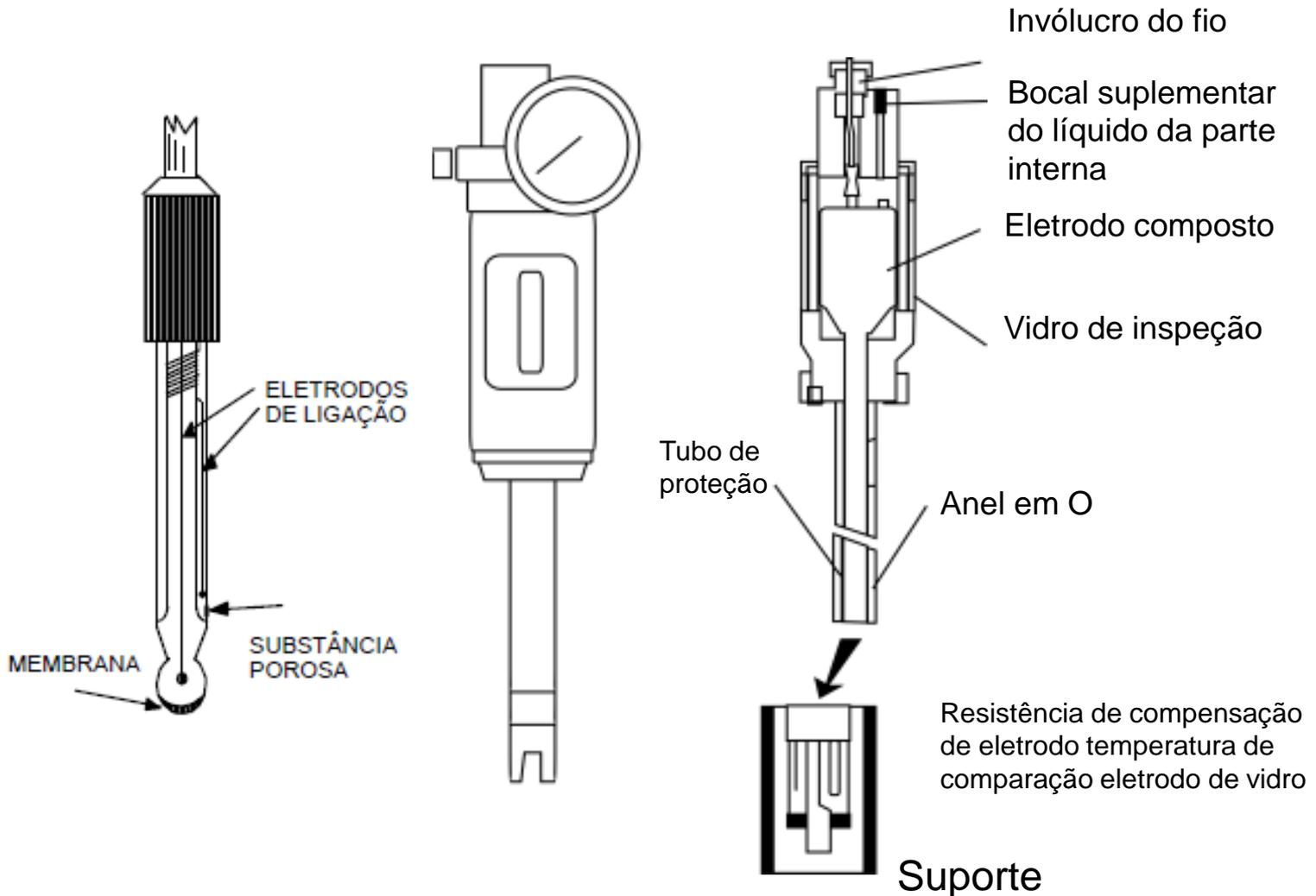
- Lavagem com ultra-som,
- Lavagem com líquido químico,
- Lavagem com escova.

} condições
das impurezas



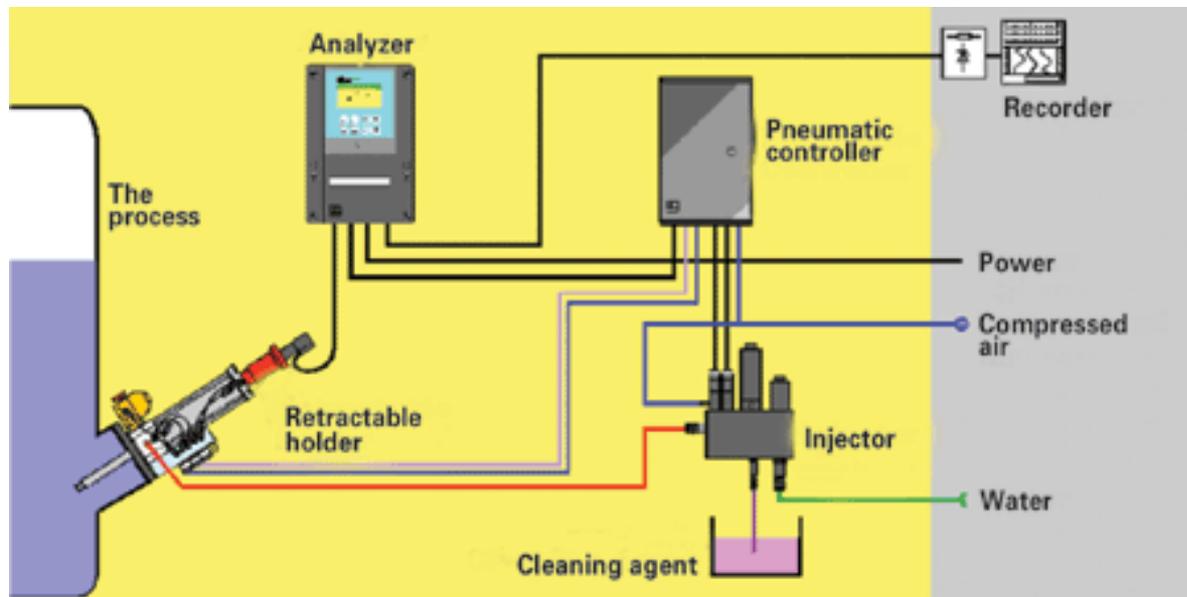
Instrumentos Especiais: pH metro

Eletrodo para medição de pH do tipo compacto



Instrumentos Especiais: pH metro

Eletrodo para medição de pH do tipo compacto



Fonte Image: <http://www.isa.org/InTechTemplate.cfm>

Relembrando

Tabela 2. SIGNIFICADO DAS LETRAS DE IDENTIFICAÇÃO

	PRIMEIRA LETRA		LETRAS SUBSEQUENTES		
	Variável Medida ou inicial	Modificadora	Função de informação ou passiva	Função final	Modificadora
A	Análise	-	Alarme	-	
B	Chama ou Combustão (2)		Escolha do usuário	Escolha do usuário	Escolha do usuário
C	Escolha do usuário	-	-	Controle	Fechado
D	Escolha do usuário	Diferencial, Diferença	-	-	Desvio (
E	Tensão elétrica (2)	-	Elemento primário, Sensor	-	-

NOTAS RELATIVAS À TABELA NOMENCLATURA ISA

1) As primeiras letras significam a variável medida e, se necessário, a combinação de uma variável de medida e um modificador de variável deverá ser atribuída de acordo com o significado da combinação.

A 1ª. Letra [A] correspondente a variável medida [Análise] deve ser usada para todos os tipos de análise de composição de fluido de processo e propriedade física. O tipo de analisador e os componentes a serem analisados, serão definidos fora do balão de identificação.

Forma de Identificação

- pHI Indicador de pH;
- pHR Registrador de pH;
- pHIC Controlador –indicador de pH;
- pHRC Controlador – registrador de pH.

Instrumentos Especiais: Densímetro

Conceito de densidade - Definição

Define-se a densidade (ρ) de um líquido como sendo a massa (ou peso) específico de uma substância em relação à massa específica da água. No caso dos gases relaciona-se com a massa específica do ar (à 0 °C e 1 atm).

Densidade

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Pressão num fluido

$$P = \frac{F}{A}$$

Densidade relativa

$$\rho_r = \frac{\rho}{\rho_{\text{água}}}$$

Diferença de pressão num fluido

$$\Delta p = \frac{\rho g A h}{A} = \rho g h$$

Peso específico

$$\text{Peso específico} = \frac{P}{V} = \frac{m}{V} g = \rho g$$

Instrumentos Especiais: Densímetro

➤ Forma de Identificação

Sgl	Indicador de densidade;
SgR	Registrador de densidade;
SglC	Controlador Indicador de densidade;
SgRC	Controlador registrador de densidade

➤ Variável

Densidade relativa (*specific gravity*) de um líquido e o peso de um determinado volume deste fluído comparado com o peso do mesmo volume de água, ambos medidos nas mesmas condições de pressão e temperatura (usualmente à P_{atm} e 20 °C).

➤ Unidade de medida

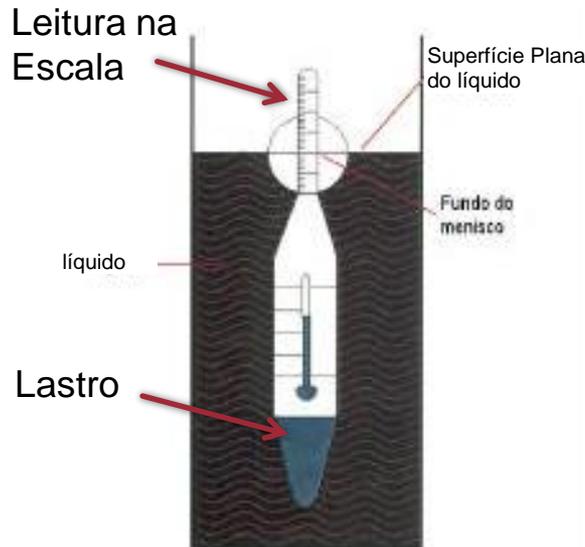
A densidade relativa, por ser resultado de uma comparação, é **adimensional**.

A densidade da água à **pressão** normal e à temperatura de **20 °C**, é de 1,00 g/cm³, e a **4 °C**, onde se atinge sua densidade máxima, é de 1,03 g/cm³.

Instrumentos Especiais: Densímetro

Densímetro

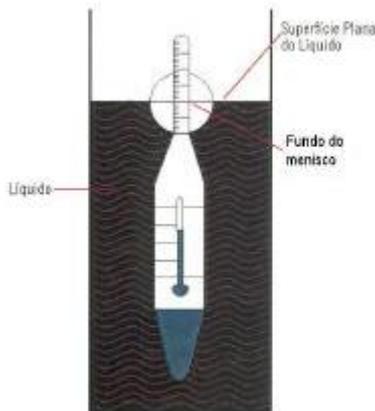
Consiste num flutuador lastrado em sua parte inferior e uma escala graduada na parte superior. O qual trabalha em equilíbrio com o líquido, quanto maior a densidade do líquido, maior a força de empuxo, deslocando-o para cima e equilibrando em nova posição.



- Quando fabrica-se a solução líquida de um elemento o seu volume será, em geral, menor que a soma dos dois.
- A porcentagem dessa variação altera conforme a sua concentração e é difícil calcular o grau de concentração a partir da mistura dos dois.

Aplicação: Muito utilizado em medições locais e em laboratórios

Instrumentos Especiais: Densímetro



Medição da densidade

Densidade de óleo

A análise da densidade na indústria de petróleo é reportada em $^{\circ}\text{API}$ (graus API – *American Petroleum Institut*).

Utiliza-se um densímetro para ler os $^{\circ}\text{API}$ a $15,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($60\text{ }^{\circ}\text{F}$).

Estão disponíveis também tabelas de conversão ao se ler o grau API numa temperatura diferente, para se poder determinar o $^{\circ}\text{API}$ do óleo a 60°F .

Importância:

Petróleos mais leves são geralmente mais valiosos do que os mais pesados, pelo fato de exigirem menor refinamento.

Tanto mais alta a leitura do $^{\circ}\text{API}$, mais leve é o óleo.

Instrumentos Especiais: Densímetro

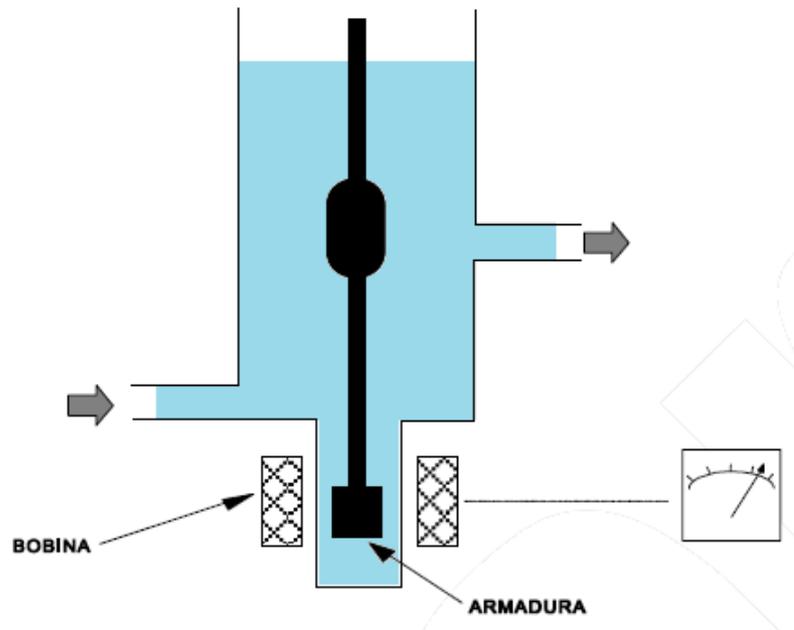
Densidade de óleo

°API	d a 60°F
0	1,0760
10	1,0000
20	0,9340
30	0,8762
40	0,8251
50	0,7796
60	0,7389
70	0,7022
80	0,6690
90	0,6388
100	0,6112

A correspondência entre a unidade °API e a densidade relativa é dada na tabela ao lado, notando-se que a escala API corre em sentido inverso da densidade relativa.

Medidor de densidade específica pelo método flutuação

Pode-se tb. transmitir o valor da densidade a distância, incorporando um transdutor de indutância variável com a armadura presa na parte inferior do flutuador. Este tipo de medidores são próprios para trabalhar com líquidos limpos e sua faixa de trabalho varia de 0,5, a 4,0.

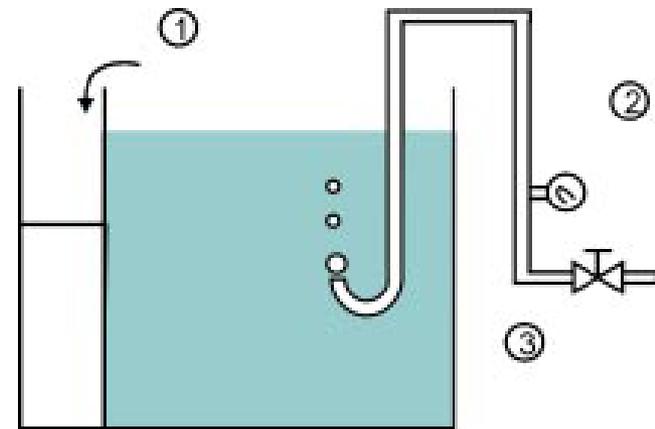


Medidor de densidade específica pelo método flutuação

- É muito frequente medir o grau de concentração do álcool de uma bebida ou do ácido sulfúrico diluído num acumulador a partir da densidade específica, com respeito a solução líquida comum (ácido sulfúrico, ácido hidrolórico, ácido nítrico, hidróxido de sódio, sal, sacarose, álcool, etc), tem-se uma relação entre a concentração e a densidade específica, podendo ser lida em tabelas, e no caso de solução líquida de ácido sulfúrico, há a balança flutuante com graduação direta do grau de concentração, de modo que sua medição pode ser feita de maneira direta e fácil.
- Nas indústrias utiliza-se o medidor de densidade específica pelo método de pressão, pela radiação ou pelo efeito Coriolis.

Medidor de densidade específica pelo método de pressão

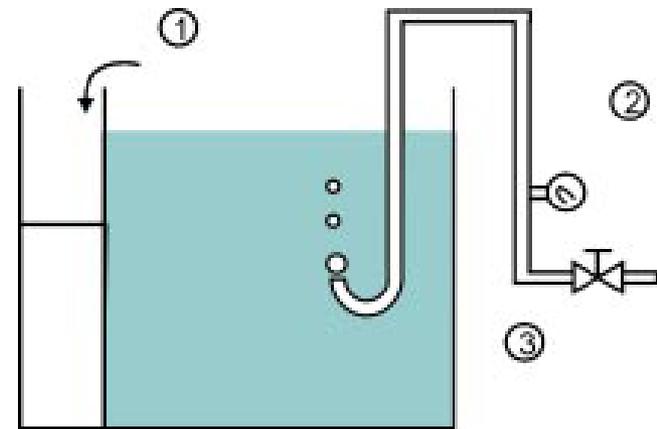
É um medidor que utiliza o **princípio do medidor da superfície do líquido pelo método borbulhador**, isto é, mantém-se a superfície da solução, a ser medida a um determinado nível e faz com que um certo volume de ar seja aí colocado e depois mede-se a pressão posterior exercida sobre o cano que esta mergulhado na solução e de cuja extremidade sai um certo volume da bolha de ar. **Como a superfície da solução é determinada, a pressão está em relação proporcional com o peso líquido, isto é, com a densidade do líquido, e conhecendo-se essa pressão, conhece-se também a densidade específica.**



- 1 - Excesso
- 2 - Medidor de Pressão
- 3 - Válvula controladora de ar

Medidor de densidade específica pelo método de pressão

Utilizado para medir a densidade específica do ácido contido num recipiente com solução ácida.



- 1 - Excesso
- 2 - Medidor de Pressão
- 3 - Válvula controladora de ar

- **Medidor de gravidade específica pelo método de radiação**

- A radiação possui a característica de se transmitir através de um material, e neste processo, a sua intensidade (energia) é absorvida.
- O grau de absorção difere conforme o material, e ainda conforme a espessura deste material. Se a espessura do material for constante, a concentração do material, ou mesmo de um líquido, será praticamente proporcional a densidade específica.
- Transmitindo-se através de um material usado uma radiação de uma determinada energia, mede-se a sua intensidade após a radiação e tem-se uma relação específica entre a densidade específica e o grau de diminuição dessa intensidade, através da qual pode-se medir a densidade específica.
- Pode-se utilizar radiações visíveis (Luz, infravermelho, raios gama...)

- **Medidor do grau de densidade pelo método de comparação da cor**

Princípio pelo método de comparação de cor

- Transmite-se raios visíveis a uma solução e depois calcula-se o grau de densidade a partir da quantidade de luz absorvida por essa solução.
- Na seguinte tabela representa-se a relação entre a cor e o comprimento de onda da luz.

- **Medidor do grau de densidade pelo método de comparação da cor**

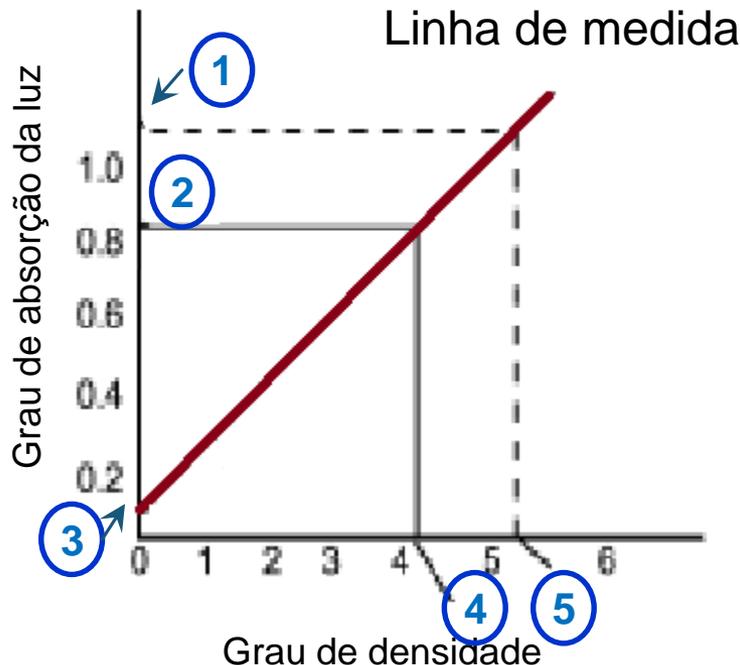
Relação entre cor e comprimento de onda

Comprimento da Onda	Cor
400 ~ 435	Roxo
435 ~ 480	Azul
480 ~ 500	Azul Verde
500 ~ 560	Verde
560 ~ 580	Amarelo Verde
580 ~ 595	Amarelo
595 ~ 610	Laranja
610 ~ 750	Vermelho Laranja
750 ~ 800	Vermelho

- Medidor do grau de densidade pelo método de comparação da cor**

Estrutura do equipamento

Utiliza-se, frequentemente, o equipamento baseado no princípio do **método da intensidade da luz** absorvida pelo filtro como sendo um analisador do grau de densidade continua para fins industriais.

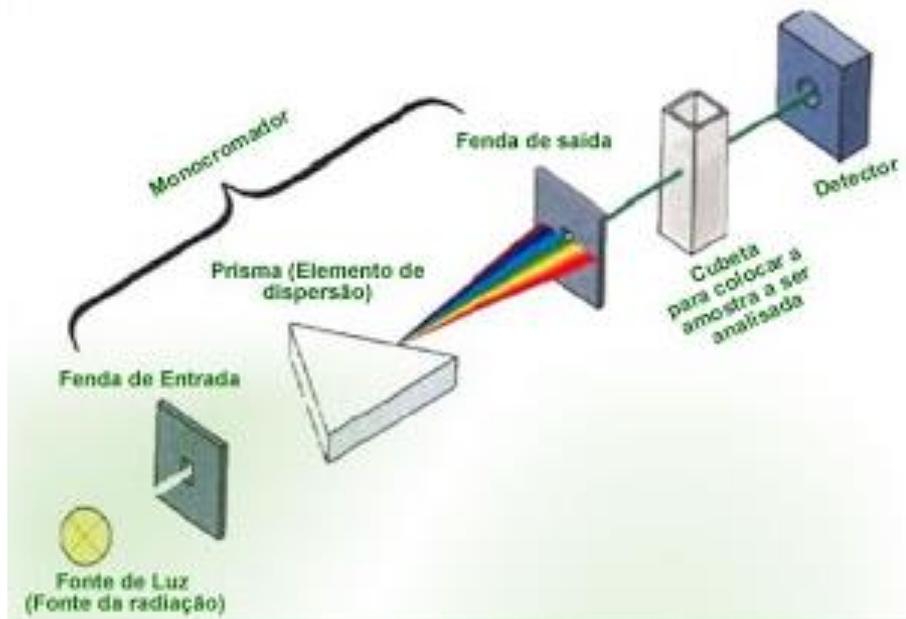


1. Grao de absorção da luz pela solução padrão
2. Grao de absorção da luz pela amostra
3. Grao de absorção da luz pela solução
4. Grao de densidade da solução padrão
5. Grao de densidade da amostra

- Medidor do grau de densidade pelo método de comparação da cor**

Estrutura do equipamento

É estruturado pela parte da fonte de luz monocromática, parte de amostra, e parte de medição da luz recebida.



1. fonte da luz
2. filtro
3. receptor de luz
4. circuito elétrico
5. parte da fonte de luz monocromática
6. parte da medida da luz recebida

Exemplo de estrutura do comparador da cor do filtro fotoelétrico.

Instrumentos Especiais: Densímetro

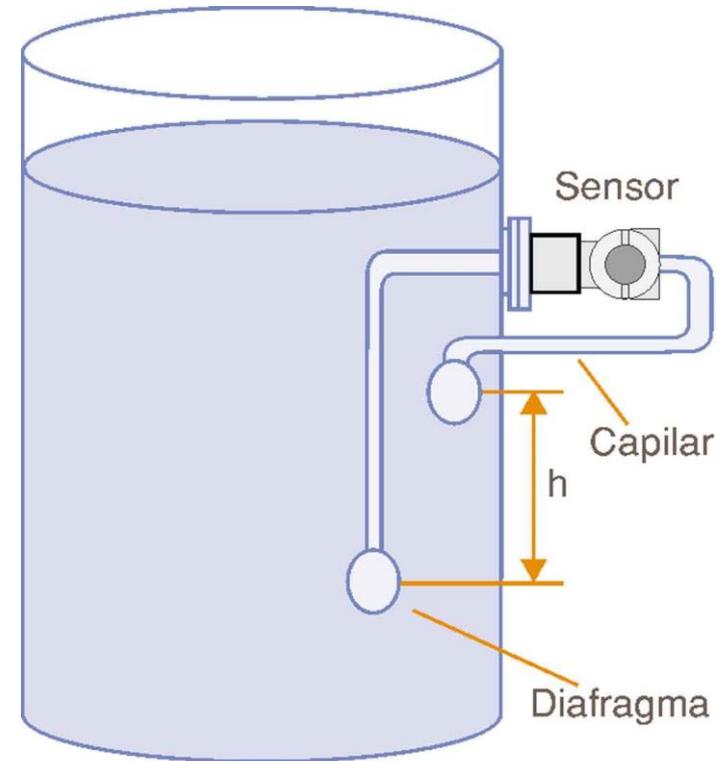
Transmissor capacitivo de densidade

Princípio de funcionamento

O equipamento utiliza um sensor de pressão diferencial tipo capacitivo que se comunica mediante capilares com os diafragmas submersos no fluido do processo, separados por uma distância fixa.

A pressão diferencial sobre o sensor capacitivo será diretamente proporcional à densidade do líquido medido (ver figura ao lado e fórmulas).

Este valor de pressão diferencial não é afetado pela variação do nível do líquido nem pela pressão interna do tanque



Se $DP = g \cdot h \cdot \rho$, logo

$$\rho = \frac{DP}{g \cdot h}$$

Instrumentos Especiais: Densímetro

Transmissor capacitivo de densidade

Consiste de um sensor de pressão diferencial do tipo capacitivo, ele gera um sinal digital. (Foundation Fieldbus)

O DT constitui-se de uma sonda com dois diafragmas repetidores que ficam mergulhados no fluido de processo. Um sensor de temperatura que fica dentro da sonda localizado entre os dois diafragmas repetidores compensa automaticamente qualquer variação da temperatura do processo.

Possui um software da unidade eletrônica efetua o cálculo da densidade ou da concentração, enviando um sinal digital relacionado à escala de densidade ou concentração selecionada pelo usuário (°Brix, °Plato, °Baumé, g/cm³, etc.).



Instrumentos Especiais: Densímetro

Tecnologia Diapasão Vibrante

- Devido ao alto consumo de energia elétrica, não pode ser alimentado através dos fios da malha, sendo necessário fonte externa.
- Normalmente tem baixa precisão.
- Utiliza partes movies.
- Requer manutenção periódica.
- Não é tão robusto.



Instrumentos Especiais: Densímetro

Tecnologia por Coriolis

- Requer instalação em linha, sendo inadequado para tanques.
- Poder ser difícil de acoplar ou remover.
- Difícil intercambiabilidade e limpeza pois não há tubo de comprimento normalizado para vazão, nem de formas retas.
- Devido ao alto consumo de energia, requer fonte externa.
- Normalmente de baixa precisão para densidade.
- Usa tubos vibrantes, peças movies.
- Difícil de ser recalibrado.



Instrumentos Especiais: Viscosímetro

Forma de Identificação

- VI Identificador de viscosidade;
- VR Registrador de viscosidade;
- VIC Controlador Indicador de viscosidade;
- VRC Controlador registrador de viscosidade.

Variável:

Viscosidade cinemática

Unidade de medida

Stokes = 10^{-4} m²/s.



Instrumentos Especiais: Viscosímetro

Tubo Capilar

Aproveita-se de queda de pressão para determinar a viscosidade

$$\mu = \eta = \frac{(P_1 - P_2) \cdot D^2}{32 \cdot v \cdot L}$$

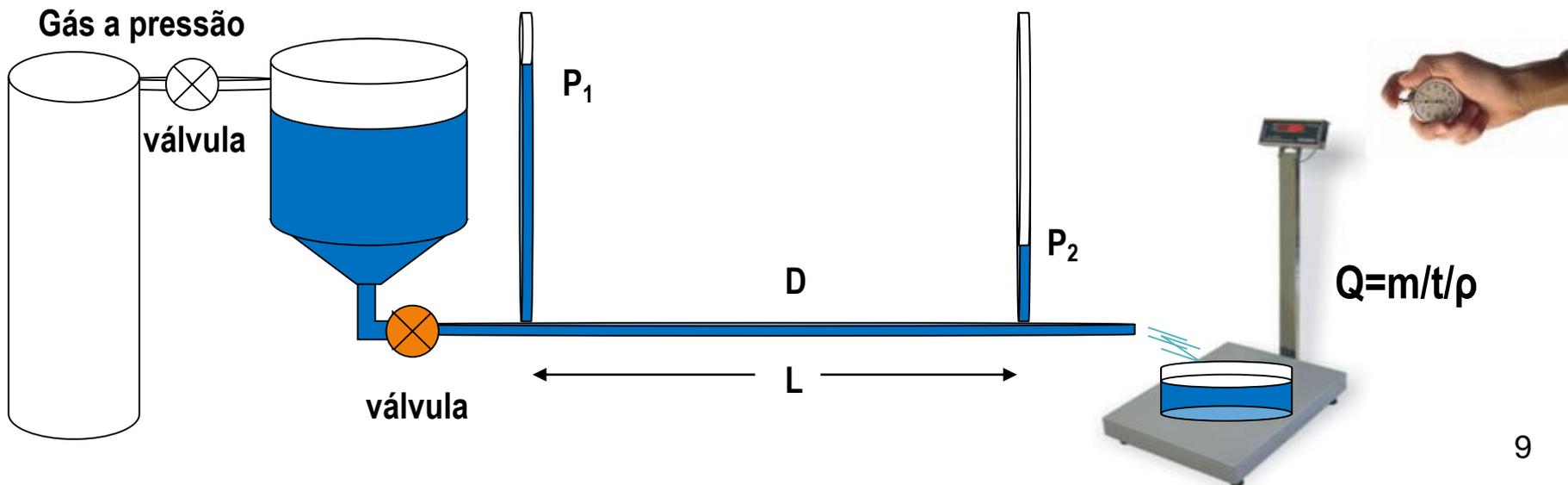
São construídos em vidro e são tipicamente operados à gás ou a pistão.



Instrumentos Especiais: Viscosímetro

Tubo Capilar

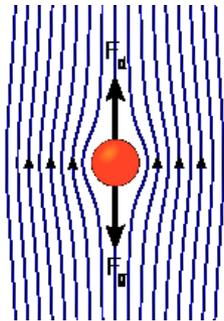
Fáceis de construir. Como força motriz pode-se usar gás pressurizado a altas pressões como aquelas encontradas em processamento asséptico de alimentos. Permitem medir os parâmetros reológicos de fluidos newtonianos e não-newtonianos a tensões de cisalhamento muito altas (da ordem de 10^6 Pa).



Instrumentos Especiais: Viscosímetro

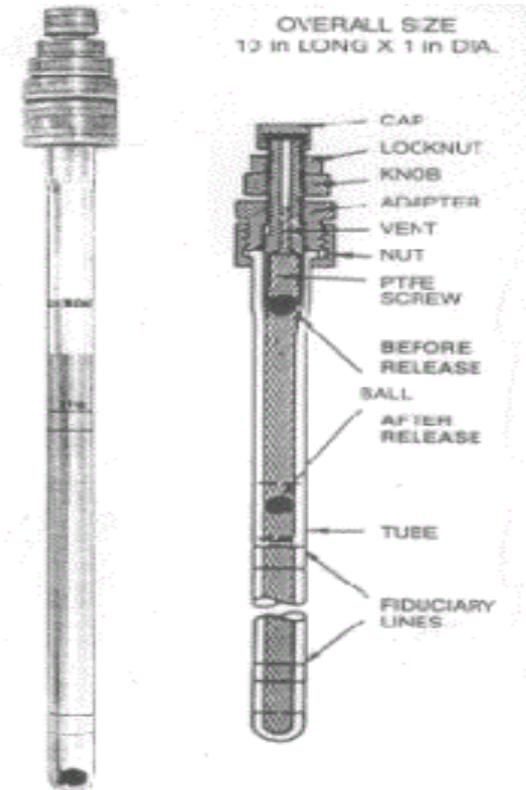
Viscosímetro de bola ou de Stokes:

Princípio de Höppler: Mede o tempo no que uma esfera sólida precisa para percorrer uma distância entre dois pontos de referência dentro de um tubo com a amostra. Assim, a viscosidade dinâmica na medida padronizada no SI (mPa•s).



$$\mu = \eta = \frac{(\gamma_s - \gamma_f) \cdot D^2}{18 \cdot V}$$

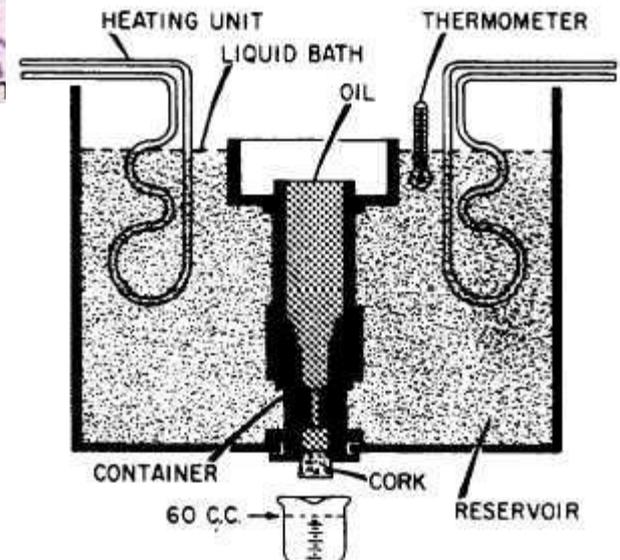
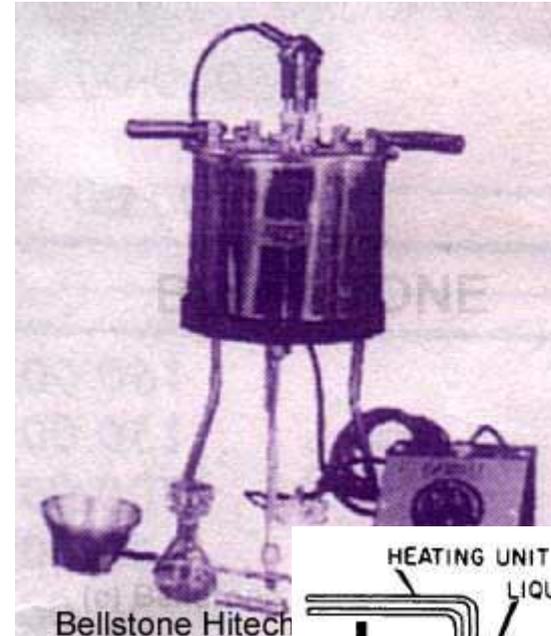
A velocidade terminal é atingida quando $F_g = F_d$. F_g é o peso e F_d é igual à soma do empuxo e da resistência devida à viscosidade: $F_b + F_v$. Como o objeto é esférico,



Instrumentos Especiais: Viscosímetro

Medição de viscosidade pelo Viscosímetro Universal de Saybolt

- A medição não é baseada na definição de viscosidade.
- Os resultados são relativos, por isso uma amostra padrão é usado para calibração
- Rápido e fácil



Instrumentos Especiais: Viscosímetro

➤ Equações de Saybolt :

$$v \text{ (cS)} = 0.226t - 195/t, t < 100 \text{ SUS}$$

$$v \text{ (cS)} = 0.220t - 135/t, t > 100 \text{ SUS}$$

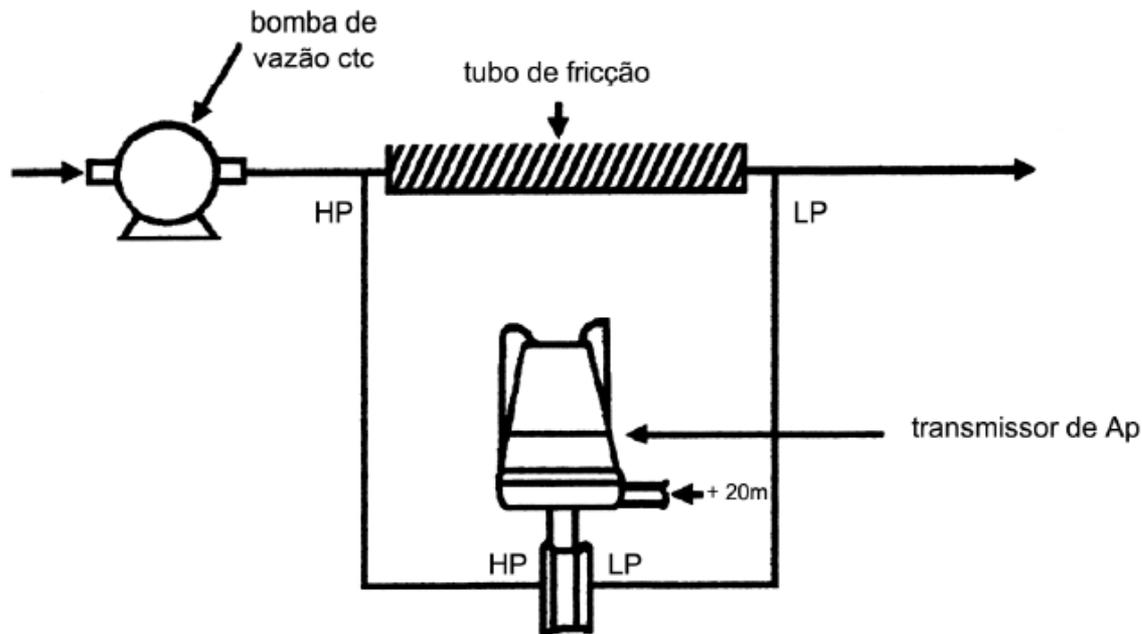
t, quantidade de tempo (segundos, SUS, Saybolt Universal Seconds) que leva para 60 cm³ a fluir através do orifício (viscosímetro Saybolt)

Tabelas são disponíveis.

Instrumentos Especiais: Viscosímetro

Funcionamento:

O líquido analisado é bombeado, a uma vazão, constante através de um tubo de fricção. A queda de pressão através deste tubo é medida em termo de viscosidade por um sistema normal de medição de pressão diferencial.



Instrumentos Especiais: Viscosímetro

O viscosímetro de Norcross, ou viscosímetro de tanque, é uma variação do viscosímetro de Stokes em que a bola é substituída por um pistão e foram adicionados mecanismos e eletrônica que possibilitam a medição on-line de viscosidade.

O pistão é levado de volta à posição inicial sempre que chega ao fundo do tanque; em função disso, o medidor necessita de uma alimentação de ar comprimido para funcionar.

Neste instrumento, não se mede a velocidade terminal, e sim o tempo de queda do pistão. A faixa de medição vai de 0.1 e 100000 cP.



Viscosímetro de Norcross.

Instrumentos Especiais: Condutivímetro

Forma de Identificação

CI	Indicador de condutividade;
CR	Registrador de condutividade;
CIC	Controlador indicador de condutividade;
CRC	Controlador registrador de condutividade.

Variável:

Condutividade elétrica

Unidades:

Micro Mho por centímetro ou us/cm micro siemens por centímetro.

Princípio de Funcionamento

- Detector (elemento primário)
- A célula de medição de condutividade é composta de dois eletrodos cilíndricos concêntricos que medem a resistência elétrica da solução em que está imersa.

Como a condutividade é relacionada com a resistência a leitura pode ser feita diretamente em condutividade, visto que:

$$C = K/R$$

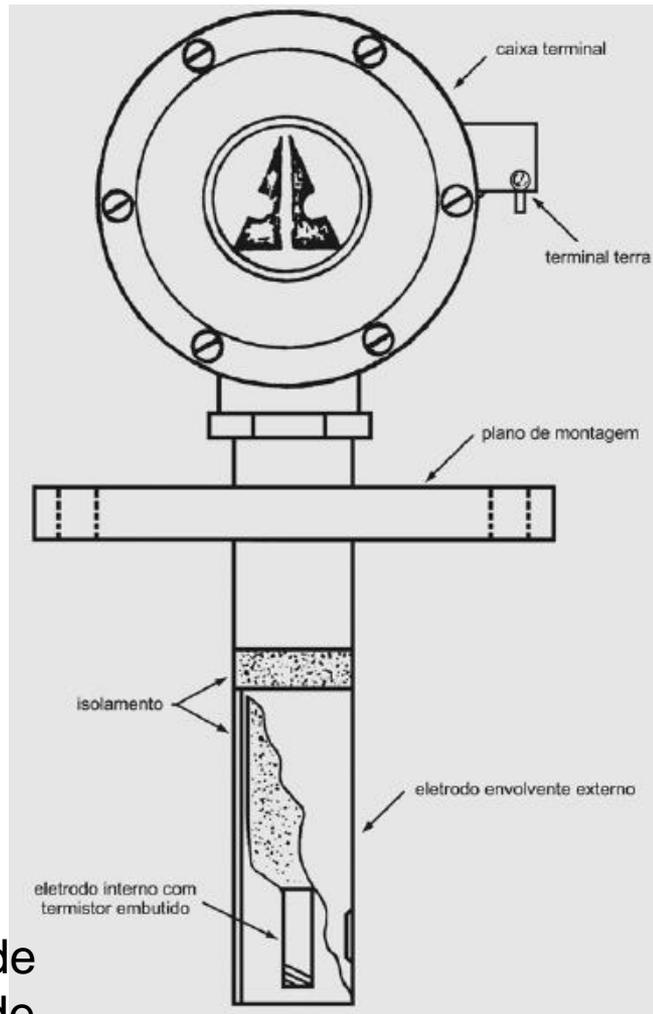
C: condutividade elétrica (S/cm)

R: resistência elétrica (Ω)

K: cte da célula.

Para efetuar a compensação da variação de temperatura da solução testada é acoplado à célula, um termistor NTC (resistor de coeficiente negativo).

Instrumentos Especiais: Condutivímetro



Desenho típico de célula de
Condutividade

Instrumentos Especiais: Analisador % de O₂

Forma de Identificação

O ₂ I	Indicador % de O ₂ ;
O ₂ R	Registrador % de O ₂ ;
O ₂ RC	Controlador registrador % de O ₂ ;
O ₂ IC	Controlador indicador % de O ₂ .

Variável

Analisa a concentração de oxigênio em gases, no nosso caso, nos gases de combustão das caldeiras para verificar sua eficiência.

Unidade de medida

% de O₂ (por volume).

Princípio de funcionamento

- **Detector tipo susceptibilidade-magnética-campo magnético não uniforme:**

O oxigênio se destaca entre os gases pelo seu comportamento para-magnético, isto é, a sua atração por um campo magnético. Um pequeno corpo de prova, imerso em um campo magnético não uniforme tende a ser expelido se o O₂ é presente. Este deslocamento aumenta com o aumento da concentração de O₂ e pode ser medido pela reflexão de raios luminosos.

Analísadores de Gases Industriais

- 1- Analísadores de Gases por Condutibilidade Térmica
- 2- Analísadores por absorção de raios infravermelhos

Analísadores de Gases Industriais

Analísadores de Gases por Condutibilidade Térmica

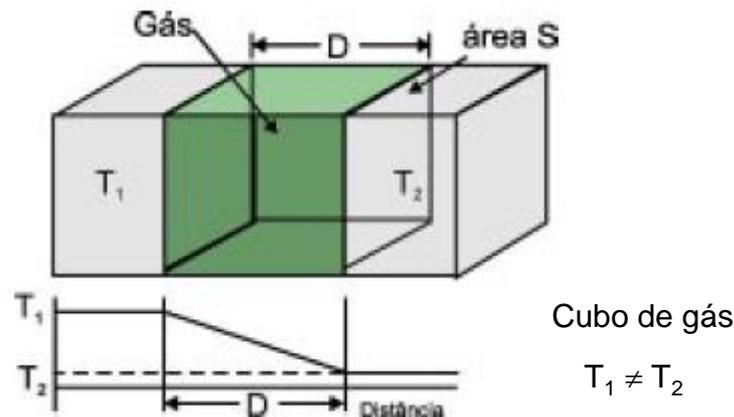
O analisador por condutibilidade térmica é um instrumento analítico industrial, que permite determinar a concentração de um gás em uma mistura gasosa. A condutibilidade térmica de um gás é uma grandeza física específica dele.

De modo que, quando uma mistura gasosa for composta de dois componentes, pode-se conhecer a concentração de cada um dos componentes através dessa propriedade.

Analísadores de Gases Industriais

Analísadores de Gases por Condutibilidade Térmica

Conceito



A quantidade de calor, Q , que atravessa o cubo na unidade de tempo T , entre as duas superfícies, depende dos seguintes fatores:

- diferença de temperatura entre as duas superfícies: $t_1 - t_2$;
- áreas das superfícies S ;
- distância entre as superfícies – D ;
- condutibilidade térmica do gás – K .

Analísadores de Gases Industriais

Analísadores de Gases por Condutibilidade Térmica

Estas grandezas estão interrelacionadas na seguinte equação:

$$\frac{Q}{T} = K * \frac{S(t_1 - t_2)}{D}$$

O fator K é uma característica de cada gás e exprime a maior ou menor facilidade de transmissão de calor, por condução através de sua massa.

A unidade constante K, é fornecida diretamente pela fórmula anterior $K = \frac{Q}{T * S * \frac{\Delta t}{D}}$

Se,

Q = Kcal (quilos caloria)

T = h (hora)

S = m² (metro quadrado)

t = t₁ - t₂ = °C (graus celsius)

D = m (metro)



A unidade K será:

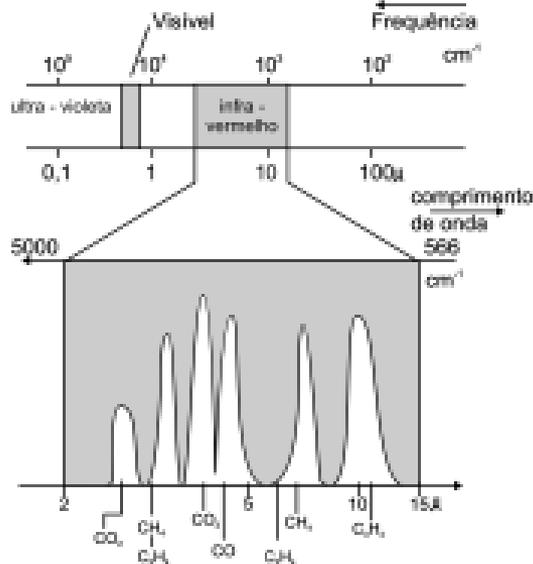
K = Kcal/h.m². °C/m

Ou então:

K = cal/s.cm². °C/cm, no sistema CGS.

Analísadores por absorção de raios infravermelhos

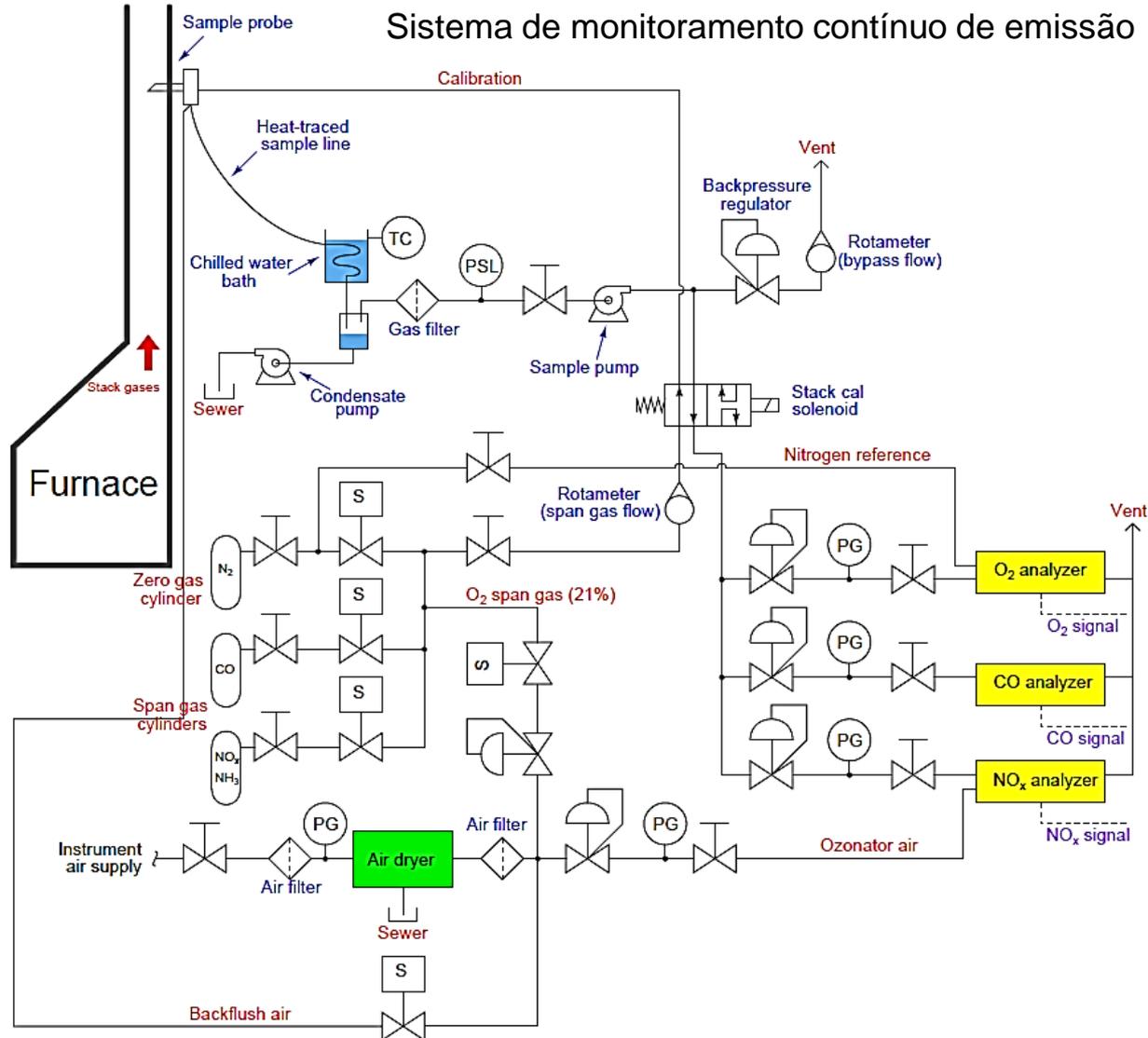
- O analisador de infravermelho industrial é um instrumento analítico, que permite determinar, quantitativamente, em uma mistura de dois ou mais gases, um dos componentes.
- A análise dos gases pelo método de absorção de raios infravermelhos utiliza o princípio de que as moléculas de um determinado gás absorvem o raio infravermelho, conforme figura abaixo e analisa continuamente a variação da concentração de um componente específico de uma mistura gasosa.



O princípio de medição é específico para o gás a ser analisado, isto é, o instrumento reagirá somente quando houver na amostra este gás.

Espectro de absorção de infravermelho de um gás.

Sistema de monitoramento contínuo de emissão de gases



Analísadores de Gases de Combustão

Selecione ▼



Analísador Portátil Chemist

- Analísadores portáteis para 2, 3 ou 4 gases de combustão (O₂, CO, NO/NO_x, SO₂ ou NO₂) • Até 10 tipos de combustíveis programáveis • Impressora matricial acoplada • Memória de dados...

detalhes +



Analísador Portátil Unigas 3000+

- Série de analisadores portáteis para medição de 1, 2, 3 ou 4 gases da combustão (O₂, CO, NO/NO_x, NO₂ ou SO₂) • Medição de pressão e temperatura, cálculo de CO₂, eficiência da...

detalhes +



Analísador Portátil Unigas 2000+

- Série de analisadores portáteis para medição de 1, 2 ou 3 gases da combustão (O₂, CO, NO/NO_x) • Medição de pressão e temperatura, cálculo de CO₂, eficiência da combustão, excesso de...

detalhes +



Analísador Portátil Greenline 6000

- Série de analisadores portáteis para medição de 2 a 6 gases da combustão (O₂, CO, CO%, NO/NO_x, NO₂, SO₂ ou C_xH_y) • Medição de pressão e temperatura, cálculo de CO₂, eficiência da...

detalhes +



Analísador Portátil Greenline 8000

- Série de analisadores portáteis para medição de 2 a 9 gases da combustão (O₂, CO₂, CO, CO%, NO/NO_x, NO₂, SO₂, H₂S ou C_xH_y) • Análise de CO₂, CO e C_xH_y por infravermelho • Medição de...

detalhes +

Referencias:

Pesa, R. Apostila “ Instrumentação Básica para Controle de Processos – Smar, 2004.

Notas de Aula de Instrumentação Industrial
Prof. Anísio Rogério Braga – DAAE / CEFET-MG e Profa. Carmela Maria Polito Braga – DELT / UFMG.

Fernando A. França: Instrumentação e Medidas: grandezas mecânicas, UNICAMP 2007.