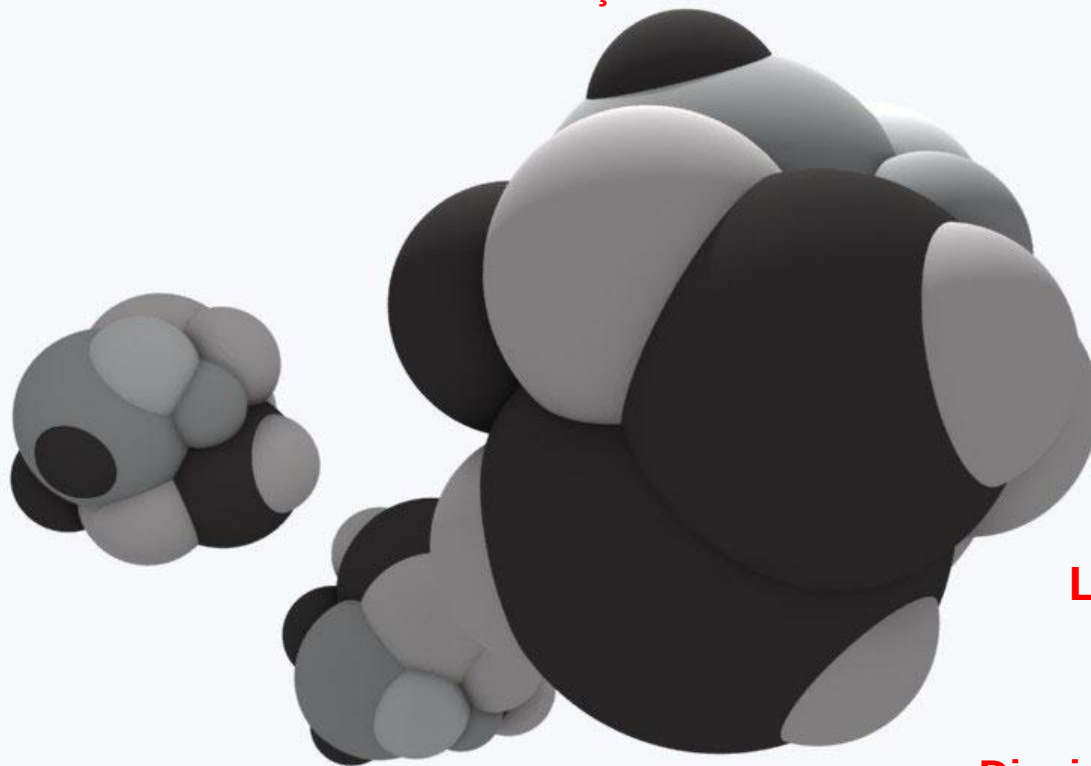
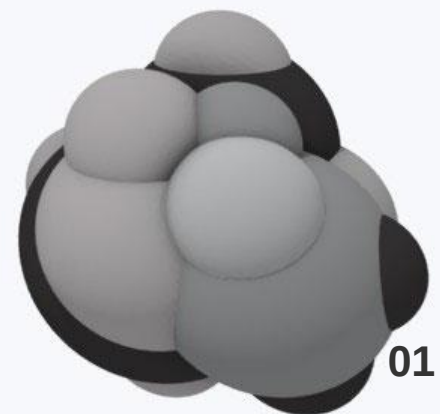




**Laboratório de Automação
Industrial**

**Disciplina: Controle e Instrumentação
Industrial**

Prof. Moacir Martins Machado



PROGRAMA DA DISCIPLINA

❖ Conceitos de Metrologia

❖ Tipos de Controle (Malha aberta e malha fechada)

❖ Sensores; transmissores e controladores de:
temperatura; pressão; vazão.

CONCEITOS DE METROLOGIA

A ciência que trata das medições é a metrologia.

A metrologia abrange todos os aspectos teóricos e práticos relativos às medições, em quaisquer campos da ciência ou da tecnologia.

Medir, entretanto, é uma atividade mais corriqueira do que parece. Ao olhar no relógio, por exemplo, você está vendo no mostrador o resultado de uma medição de tempo. Ao tomar um táxi, comprar um quilograma de carne no açougue ou abastecer o carro no posto de gasolina, você presencia medições. Mas o que é uma medição?

MEDIÇÃO

- ❖ Medir é uma atividade corriqueira. Ao olhar no relógio, por exemplo, você está vendo no mostrador o resultado de uma medição de tempo. Ao tomar um táxi, comprar um quilograma de carne no açougue ou abastecer o carro no posto de gasolina, você presencia medições

O QUE É MEDIÇÃO?

- Medir é comparar uma grandeza com uma outra, de mesma natureza, tomada como padrão. Medição é, portanto, o conjunto de operações que tem por objetivo determinar o valor de uma grandeza.

O QUE PODEMOS MEDIR?

- Existe uma imensa variedade de coisas diferentes que podem ser medidas sob vários aspectos. Considere uma lata, dessas que são usadas para refrigerante. Você pode medir a sua altura, pode medir quanto ela "*pesa*" e pode medir quanto líquido ela pode comportar. Cada um desses aspectos (comprimento, massa, volume) implica numa **grandeza** física diferente.

CONCEITO DE GRANDEZA

- o conceito de grandeza é fundamental para se efetuar qualquer medição.
- Grandeza pode ser definida como: atributo físico de um corpo que pode ser **qualitativamente** distinguido e **quantitativamente** determinado.

CONCEITO DE GRANDEZA



- ▶ A altura de uma lata de refrigerante é um dos atributos desse corpo, definido pela grandeza comprimento, que é **qualitativamente distinto** de outros atributos (diferente de massa, por exemplo) e **quantitativamente determinável** (pode ser expresso por um número).



UNIDADE DE MEDIÇÃO

- ▶ Para determinar o valor numérico de uma grandeza, é necessário que se disponha de uma outra grandeza de mesma natureza, definida e adotada por **convenção**- Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM)- **para fazer a comparação com a primeira.**

UNIDADE DE MEDIÇÃO

- ▶ Para saber a altura daquela lata, por exemplo, é preciso adotar um comprimento definido para ser usado como unidade. O comprimento definido como unidade de medida pelo Sistema Internacional de Unidades - SI, é o Metro, seus múltiplos e submúltiplos.

UNIDADE DE MEDIÇÃO

❖ O Metro é definido como sendo o comprimento do trajeto percorrido pela luz no vácuo, durante um intervalo de tempo de $1/299.792.458$ de segundo.

- 1) Unidades de medida têm nomes e símbolos aceitos por convenção.
- 2) O símbolo é um sinal convencional que designa uma unidade de medida..

PADRÃO

- ▶ Um padrão metrológico é um **instrumento de medir** ou uma **medida materializada** destinado a reproduzir uma unidade de medir para servir como referência.

PADRÃO PRIMÁRIO

- ▶ O padrão (de qualquer grandeza) reconhecido como tendo a mais alta qualidade metrológica e cujo valor é aceito sem referência a outro padrão.

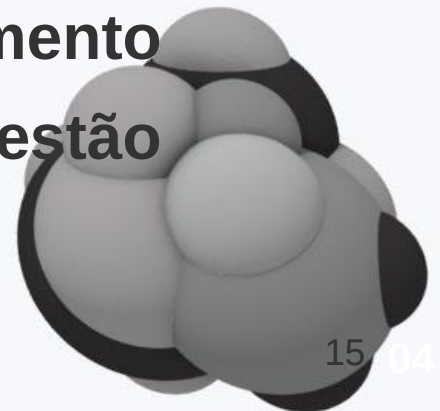
PADRÃO SECUNDÁRIO

- ▶ Um padrão cujo valor é estabelecido pela comparação direta com o padrão primário é chamado Padrão Secundário, e assim sucessivamente, criando uma cadeia de padrões onde um padrão de maior qualidade metrológica é usado como referência para o de menor qualidade metrológica.

INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO



- 1) Saber qual a grandeza que pretendemos medir e o grau de exatidão que pretendemos obter como resultado dessa medição
- 2) Escolher o instrumento de medir adequado.
- OBS: É necessário que o instrumento ou medida materializada em questão tenha sido calibrado.

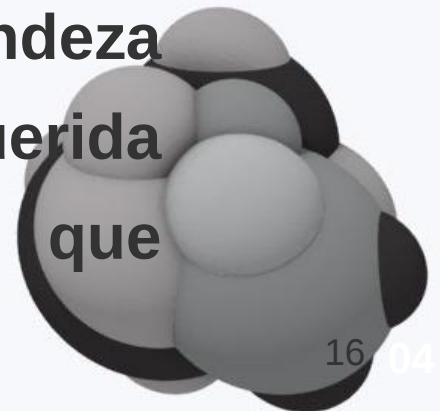


MÉTODO DE MEDIÇÃO



Mesmo na medição mais corriqueira adotamos, de maneira consciente ou inconsciente, um método de medição e um procedimento de medição.

- Métodos e procedimentos de medição são adotados em razão da (1) grandeza a ser medida, da (2) exatidão requerida e (3) de outros condicionantes que envolvem uma série de variáveis.



RESULTADO DA MEDIÇÃO

Após medir uma grandeza, devemos enunciar o resultado da medição. Parece coisa simples, mas não é. Em primeiro lugar, ao realizar uma medição, é impossível determinar um valor verdadeiro para a grandeza medida.

INCERTEZA DA MEDIÇÃO

Vamos supor que você mediu a massa de um corpo em uma balança eletrônica e a indicação numérica que apareceu no visor foi 251g (duzentos e cinquenta e um gramas). Na verdade, um possível valor verdadeiro da massa daquele corpo estaria próximo da indicação obtida, embora este seja, por definição, indeterminável. Os parâmetros dessa aproximação são dados pela incerteza da medição.



INCERTEZA DA MEDIÇÃO

Nas medições para fins científicos ou tecnológicos, será preciso deixar claro se o resultado apresentado refere-se àquela indicação, ou ao resultado corrigido, ou ainda à média de várias medições. Deve conter ainda informações sobre a incerteza de medição, ser expresso utilizando-se o nome e a simbologia da grandeza de forma correta e levar em consideração os algarismos significativos que compõem o valor numérico.

ERRO EM INSTRUMENTO ANALÓGICO

O QUE É UM INSTRUMENTO ANALÓGICO?

Este tipo de instrumentos tem, do ponto de vista de construção, uma componente mecânica cujas características funcionais afetam diretamente a exatidão da medida.

ERRO EM INSTRUMENTO ANALÓGICO

O QUE É UM INSTRUMENTO ANALÓGICO?

Por construção, o instrumento assegura uma correspondência contínua entre os valores da grandeza medida e amplitude do desvio, geralmente angular, da equipagem móvel à qual está acoplado um ponteiro que se desloca frente a uma escala graduada.

ERRO EM INSTRUMENTO ANALÓGICO

O QUE É UM INSTRUMENTO ANALÓGICO?

Consegue-se deste modo converter a
grandeza a medir num valor numérico
que lhe é proporcional.

ERRO EM INSTRUMENTO ANALÓGICO

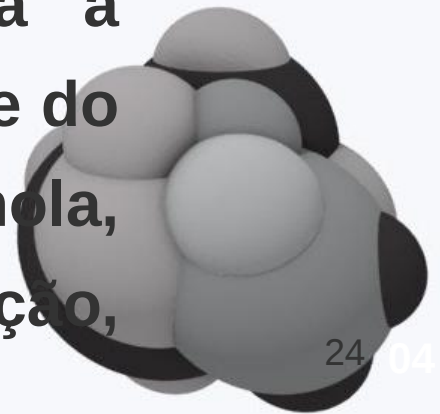
RESUMINDO O QUE É UM INSTRUMENTO ANALÓGICO.

INSTRUMENTO ANALÓGICO É AQUELE NO QUAL O DESLOCAMENTO ANGULAR DE UM PONTEIRO, REPRESENTA A MAGNITUDE DA GRANDEZA A SER MEDIDA.

ERRO EM INSTRUMENTO ANALÓGICO

PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

Do ponto de vista do princípio de funcionamento, na situação de equilíbrio estático da equipagem móvel, o valor médio do binário associado à grandeza a medir, denominado binário atuante, e do binário de deformação de uma mola, denominado por binário de restituição, equilibram-se.



ERRO EM INSTRUMENTO ANALÓGICO

PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

No equilíbrio dos binários atuante e de deformação, temos:

$$T_a = T_d, \text{ onde} \quad (1)$$

T_a - valor médio do binário atuante;

T_d - binário de restituição.

ERRO EM INSTRUMENTO ANALÓGICO

PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

Admitindo que o binário de restituição da mola é diretamente proporcional ao ângulo de desvio da equipagem móvel e que o valor médio do binário atuante depende da grandeza a medir; temos:

ERRO EM INSTRUMENTO ANALÓGICO

PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

uma expressão que nos dá o valor do desvio da equipagem móvel em função do valor da grandeza que se pretende medir.

ERRO EM INSTRUMENTO ANALÓGICO

PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

Na situação de equilíbrio estático teremos portanto um desvio angular dado por:

$$\alpha = f(M)/C \quad (2)$$

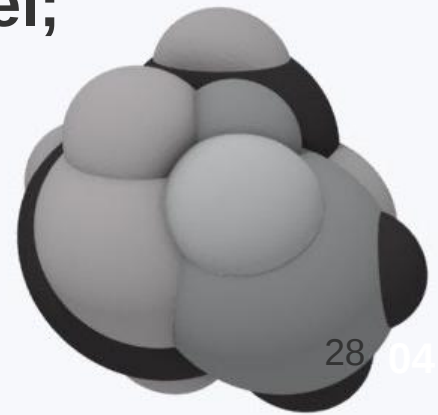
α - desvio angular da equipagem móvel;

C - constante de torção da mola;

M - grandeza a medir (mesurando);

f- função que relaciona o binário

atuante com a grandeza a medir.



ERRO EM INSTRUMENTO ANALÓGICO

PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO CONCLUSÃO

Na situação de equilíbrio estático entre os binários, no caso da instrumentação analógica, o desvio da equipagem móvel dá uma medida do binário atuante e, conseqüentemente, da grandeza que se pretende medir.

ERRO EM INSTRUMENTO ANALÓGICO

TIPOS DE INSTRUMENTOS ANALÓGICOS

Consoante o princípio físico utilizado na obtenção do binário atuante podemos distinguir diferentes tipos de instrumentos analógicos. Os quatro principais tipos são:

ERRO EM INSTRUMENTO ANALÓGICO

TIPOS DE INSTRUMENTOS ANALÓGICOS

Os quatro principais tipos são:

- instrumentos de quadro móvel;
- instrumentos eletrodinâmicos;
- instrumentos eletromagnéticos;
- instrumentos eletrostáticos.

ERRO EM INSTRUMENTO ANALÓGICO

INSTRUMENTOS ANALÓGICOS DE QUADRO MÓVEL

Nestes tipos de instrumentos, o binário atuante resulta da interação entre a corrente elétrica que percorre uma bobina móvel e o campo magnético criado por um ímã permanente e fixo.

ERRO EM INSTRUMENTO ANALÓGICO

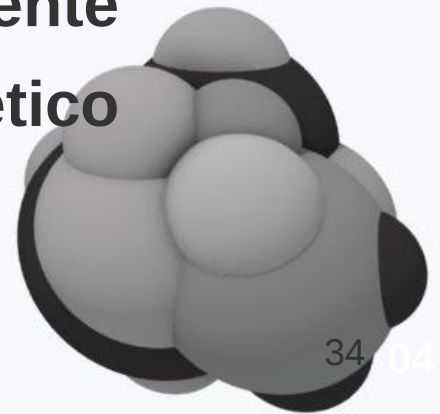
INSTRUMENTOS ANALÓGICOS ELETRODINÂMICOS

No caso dos instrumentos eletrodinâmicos, o binário atuante resulta da interação entre duas correntes elétricas circulando uma numa bobina móvel e a outra numa bobina fixa.

ERRO EM INSTRUMENTO ANALÓGICO

INSTRUMENTOS ANALÓGICOS ELETROMAGNÉTICOS

Nos instrumentos eletromagnéticos, o binário atuante resulta da interação entre um corpo móvel magneticamente polarizável e o campo magnético produzido por uma corrente que circula numa bobina fixa.



ERRO EM INSTRUMENTO ANALÓGICO

INSTRUMENTOS ANALÓGICOS ELETROSTÁTICOS

No caso dos instrumentos eletrostáticos, o binário atuante resulta da interação elétrica entre distribuições de carga na superfície de um sistema de condutores dos quais um é móvel e os restantes são fixos.

ERRO EM INSTRUMENTO ANALÓGICO

COMO É REALIZADA A MEDIDA ?

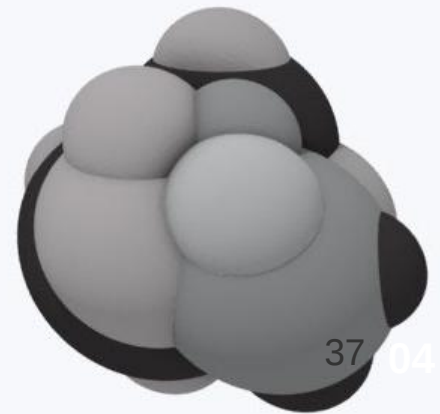
Ao invés de pintar uma escala de ângulos, uma calibração é usada de tal modo que o deslocamento angular é transformado no valor da grandeza a ser medida.

ERRO EM INSTRUMENTO ANALÓGICO



CLASSE DOS INSTRUMENTOS

Geralmente os instrumentos analógicos vem com um índice de classe a fim de designar sua exatidão.



ERRO EM INSTRUMENTO ANALÓGICO

Índice de Classe Limites de erros

0,05 0,05%

0,1 0,1%

0,2 0,2%

0,5 0,5%

1,0 1,0%

1,5 1,5%

2,5 2,5%

5,0 5,0%

Os erros são relativos ao fundo de escala que está sendo utilizado na medida.

DEFAULT STYLES

ERRO EM INSTRUMENTO ANALÓGICO

O erro na medição (em termos de fundo de escala) varia em função do parâmetro a ser medido.

O MANUAL DO FABRICANTE DEVE SEMPRE SER CONSULTADO.

ERRO EM INSTRUMENTO ANALÓGICO

Exemplo

Um instrumento que tenha um erro de 3%, quando usado na escala de 10V e estiver fazendo a leitura de uma tensão de 9 V.

Então:

$$V = 9,0V \pm 3\% \text{ do fundo de escala}$$

$$V = 9,0V \pm 3\% \text{ de } 10V$$

$$V = 9,0 V \pm 0,3V. \text{ Ou seja:}$$

$$V = (9,0 \pm 0,3)V, \text{ ou : } V = 9,0V \pm 6\%.$$

ERRO EM INSTRUMENTO ANALÓGICO

Isso quer dizer, que o menor erro que o instrumento comete é quando está sendo feita uma medida que coincide com o valor do fundo de escala (10V).

ERRO EM INSTRUMENTO ANALÓGICO

IMPORTANTE

Em termos percentuais, qualquer outra medida (2V, 3V, 5V,..) sempre implicará num erro percentual maior do que 3%, a não ser na situação limite (10V).

ERRO EM INSTRUMENTO ANALÓGICO

EXEMPLO

Você dispõe de um instrumento de 5% de fundo de escala (F.E.), com as seguintes escalas: 1V, 4V, 10V, e precisa medir uma tensão de aproximadamente 2,0 V. Qual das escalas escolheria?

ERRO EM INSTRUMENTO ANALÓGICO

EXEMPLO

Apesar de poder usar qualquer escala, com exceção da escala de 1V, essas escalas teriam erros percentuais diferentes para uma leitura da mesma tensão (2,0V , no caso).

ERRO EM INSTRUMENTO ANALÓGICO

EXEMPLO

Analizando a medida e o erro em cada escala, temos:

(a) escala de 4V

$$V = 2,0 \text{ V} \pm 5\% \text{ de } 4,0$$

$$V = (2,0 \pm 0,2) \text{ V} = 2,0 \text{ V} \pm 10\%$$

ERRO EM INSTRUMENTO ANALÓGICO

EXEMPLO

(b) escala de 10V

$$V = 2,0 \text{ V} \pm 5\% \text{ de } 10\text{V}$$

$$V = (2,0 \pm 0,5) \text{ V} = 2,0 \text{ V} \pm 20\%$$

RESULTADO DA ESCOLHA: a escala de 4V é a mais aconselhável, porque o erro percentual de leitura é menor.

ERRO EM INSTRUMENTO ANALÓGICO

ALGUMAS DAS SIMBOLOGIAS UTILIZADAS NOS INSTRUMENTOS



Instrumento de Ferro Móvel.

Instrumento deve ser utilizado na horizontal .

Tensão Suportável

ERRO EM INSTRUMENTO ANALÓGICO

ALGUMAS DAS SIMBOLOGIAS UTILIZADAS NOS INSTRUMENTOS



Corrente contínua.



Instrumento deve ser utilizado na vertical .



Instrumento de bobina móvel

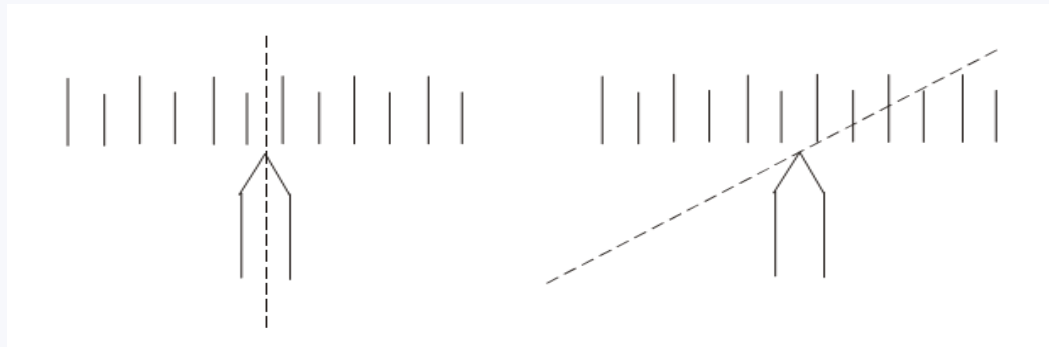
ERRO EM INSTRUMENTO ANALÓGICO

O erro mais comum neste tipo de instrumento é o erro de paralaxe:

Ele ocorre quando a vista do observador, a ponta do ponteiro e o valor indicado na escala não se situam no mesmo plano

ERRO EM INSTRUMENTO ANALÓGICO

O erro de paralaxe:



Esta é a razão de se utilizar espelhos no fundo de escala.

DEFAULT STYLES

INSTRUMENTO DIGITAL



O QUE É UM INSTRUMENTO DIGITAL:

Instrumento onde o valor medido é representado por uma seqüência de números, ou amostras (variável discreta). Fornece um sinal de saída ou uma indicação em forma digital.



INSTRUMENTO DIGITAL



O QUE É UM INSTRUMENTO DIGITAL:

Observação:

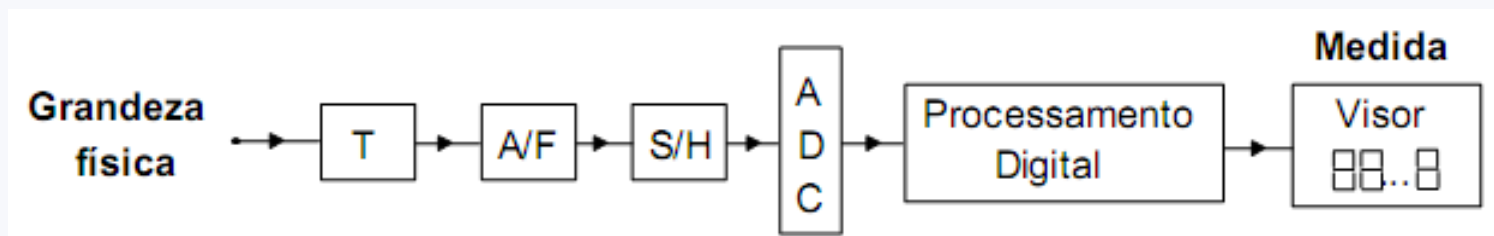
O termo **INSTRUMENTO DIGITAL** é relativo à forma de apresentação do sinal de saída ou da indicação e não ao princípio de funcionamento do instrumento.



INSTRUMENTO DIGITAL



ARQUITETURA GERAL DE UM INSTRUMENTO DIGITAL.

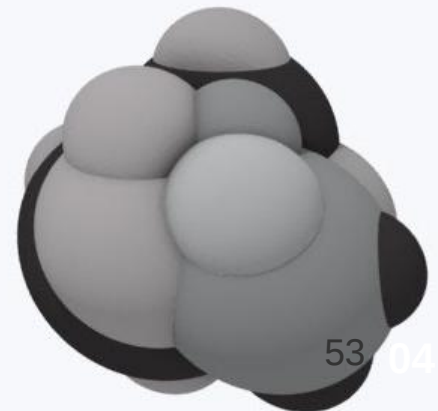


T - Transdutor

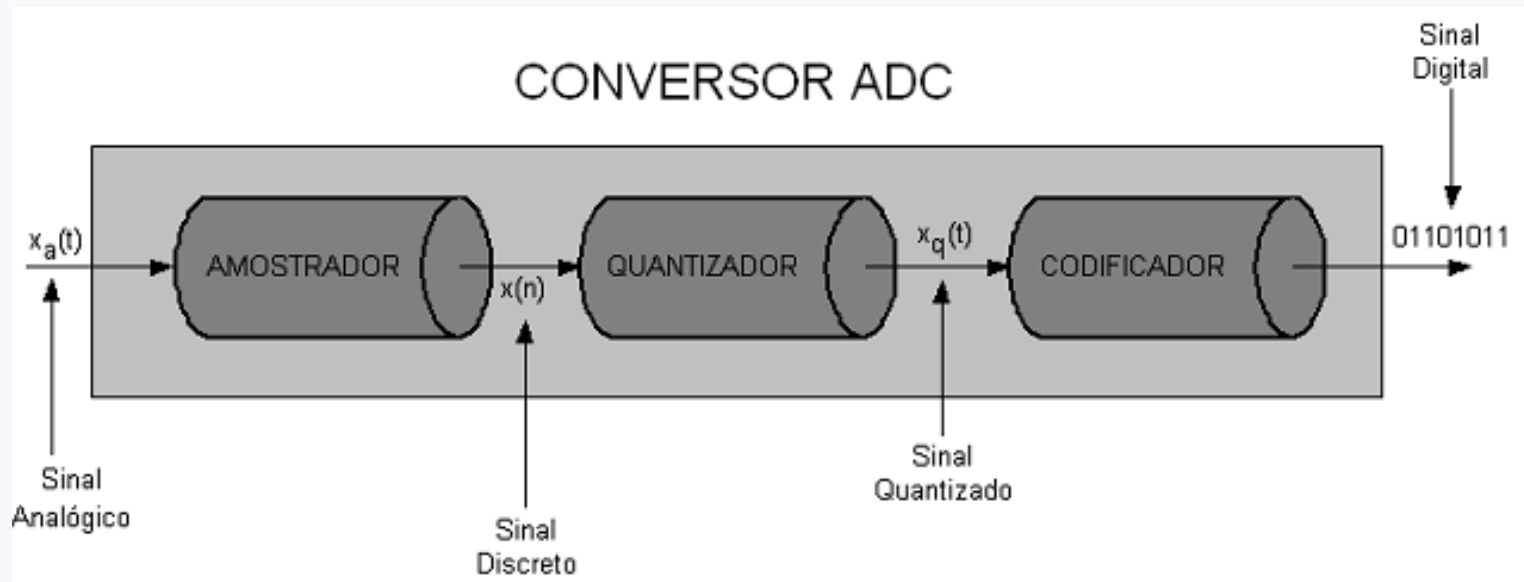
A/F - Amplificador/Filtro

S/H - “Sample-and-Hold” (ou amostragem e retenção - faz a amostragem de um sinal na sua entrada por curto tempo e o mantém na saída por longo tempo)

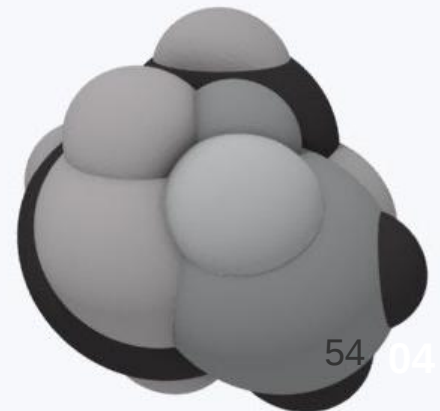
ADC - “Analogue-to-Digital Converter” (ou conversor analógico para digital)



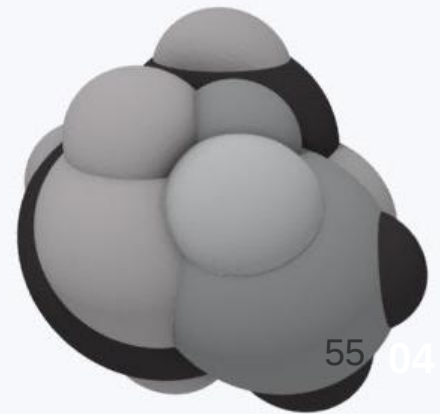
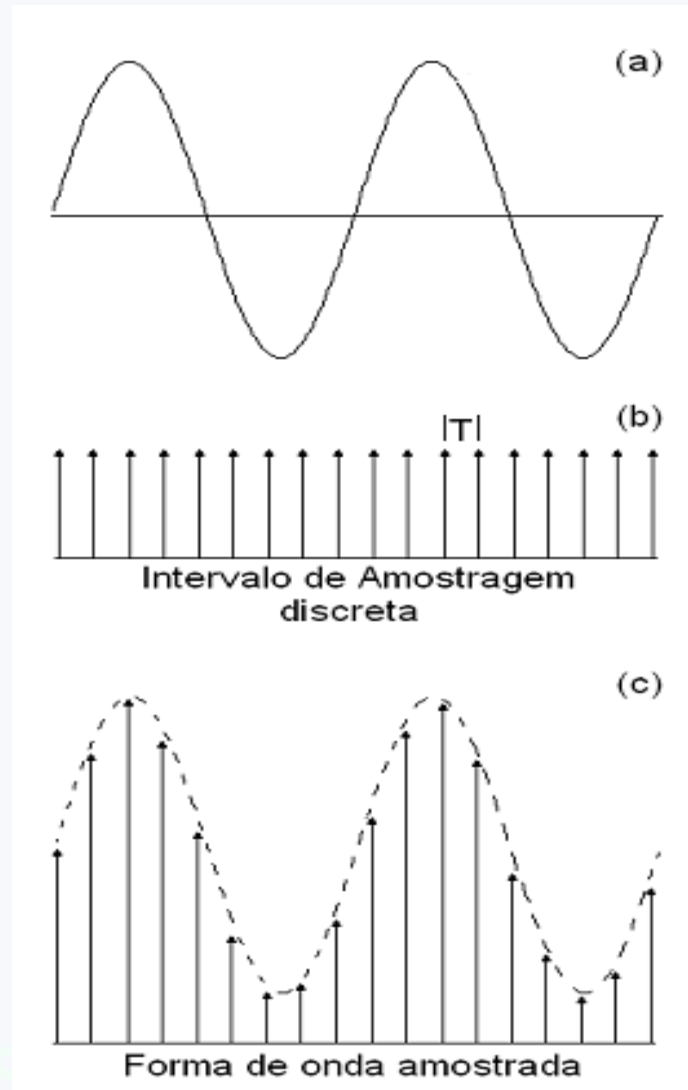
INSTRUMENTO DIGITAL



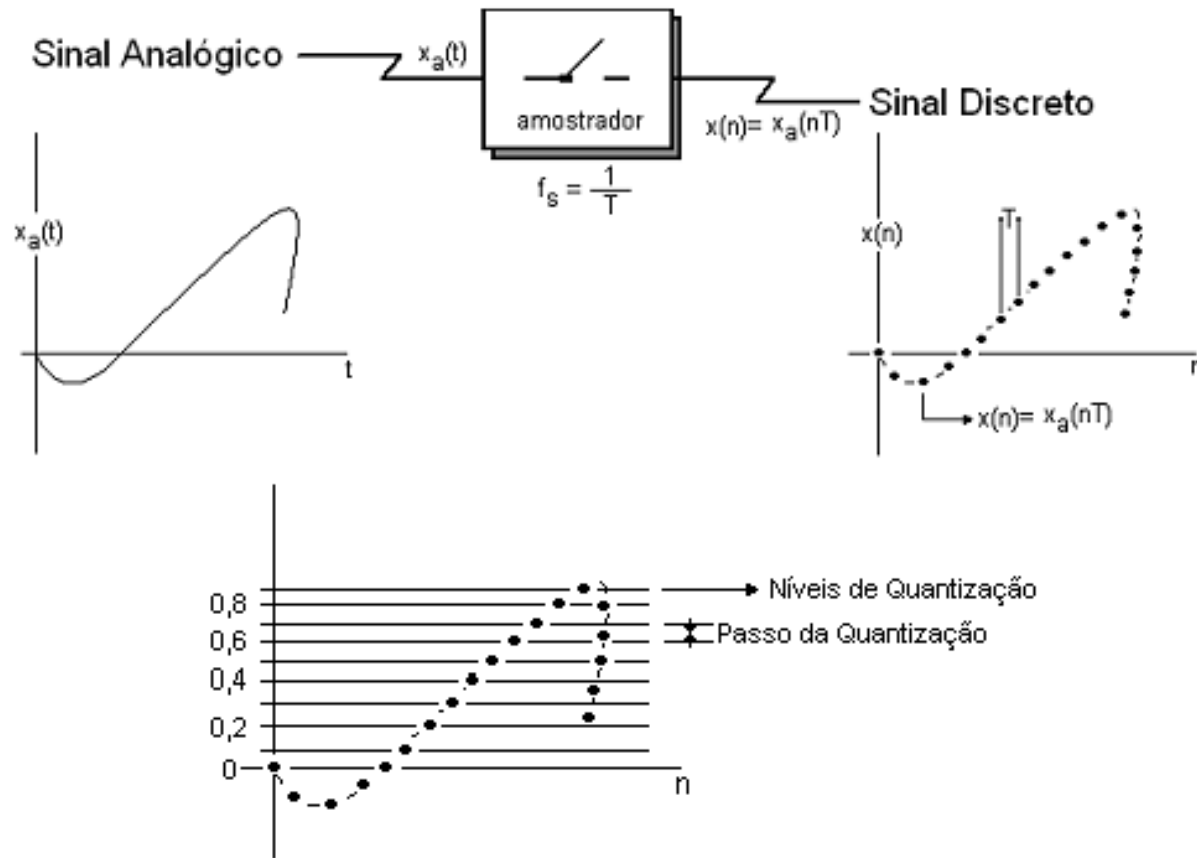
DEFAULT STYLES



INSTRUMENTO DIGITAL



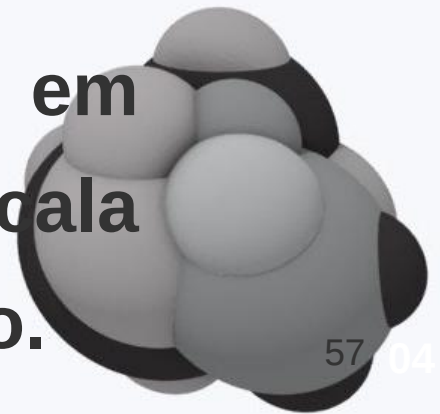
INSTRUMENTO DIGITAL



INSTRUMENTO DIGITAL

PRINCIPAIS DIFERENÇAS ENTRE INSTRUMENTOS ANALÓGICOS E DIGITAIS

- (1) conversor analógico-digital (ADC);**
- (2) processamento digital em lugar de processamento analógico;**
- (3) utilização de um visor numérico em lugar de um ponteiro e de uma escala para apresentação do valor medido.**

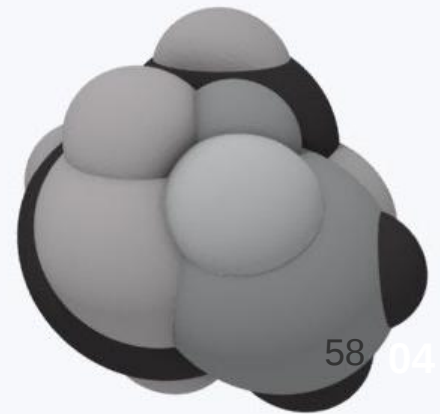


INSTRUMENTO DIGITAL



RESOLUÇÃO DOS INSTRUMENTOS DIGITAIS

É fornecida em função do número de dígitos. Se um determinado instrumento mostrar uma grandeza na forma **999**, diz-se que a mesma é representada por 3 dígitos.

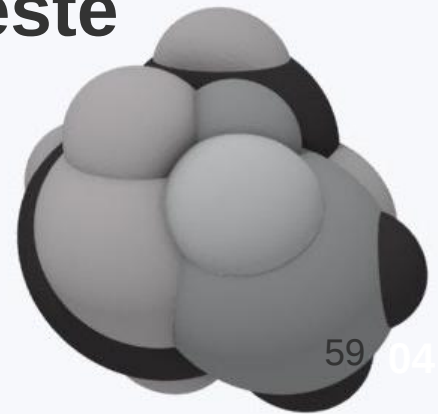


INSTRUMENTO DIGITAL



É comum que os displays LCDs representem as grandezas com um fundo de escala do tipo **1999** (2000 contagens)

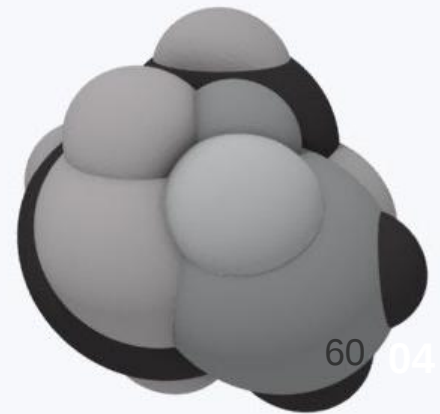
Se assim for: diz-se que este instrumento é 3 e $\frac{1}{2}$ dígitos.



INSTRUMENTO DIGITAL



Por conseguinte se o fundo de escala for de **19999** (20000 contagens), diz-se que este instrumento é 4 e $\frac{1}{2}$ dígitos.

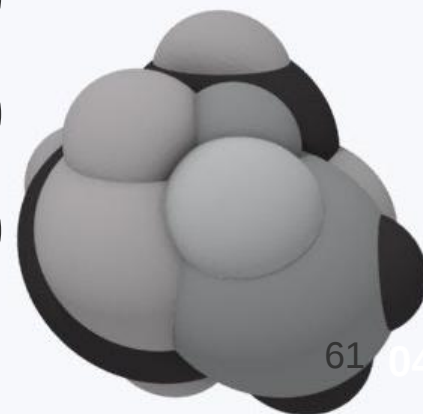


INSTRUMENTO DIGITAL



EXPLICANDO MELHOR

Dígitos	Contagens	Total
3 e 1/2	0-1999	2000
3 e 3/4	0-3999	4000
4 e 1/2	0-19999	20000
4 e 3/4	0-39999	40000
4 e 4/5	0-49999	50000

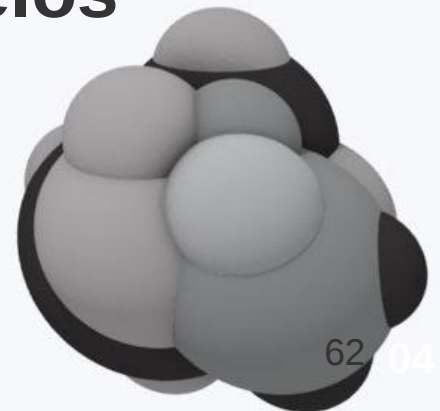


INSTRUMENTO DIGITAL



O CONVERSOR A/D:

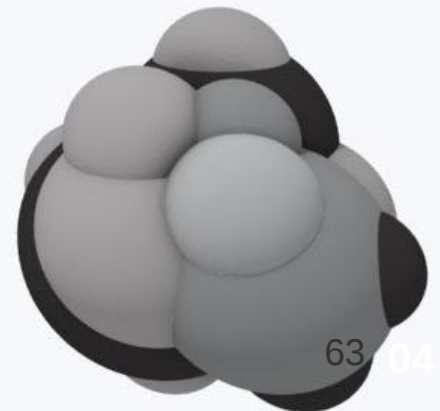
Dados digitais estão baseados em níveis de sinais que se restringem a dois estados, ou seja, os valores “binários” representados pelos valores 0 e 1.



INSTRUMENTO DIGITAL



1. Um grupo de bits recebe o nome de “palavra” . Uma determinada palavra poderia conter 4 bits, como por exemplo: 0101.



INSTRUMENTO DIGITAL



2. A posição dos bits na palavra tem o significado de que o bit menos significativo (LSB) é o último da direita e o bit mais significativo (MSB) está mais à esquerda da palavra.

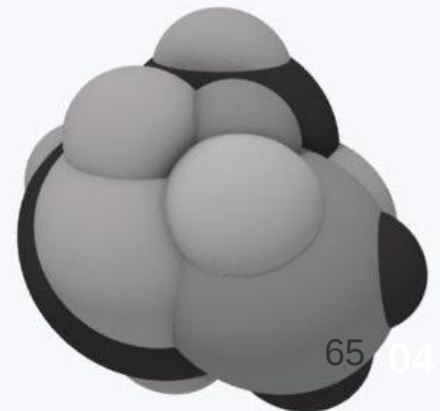


INSTRUMENTO DIGITAL



3. O valor dos bits numa palavra é:

$$\begin{array}{ccccccc} 2^{n-1} & \dots & 2^4 & 2^3 & 2^2 & 2^1 & 2^0 \\ \uparrow & & & & & \uparrow & \\ \text{MSB} & & & & & \text{LSB} & \end{array}$$

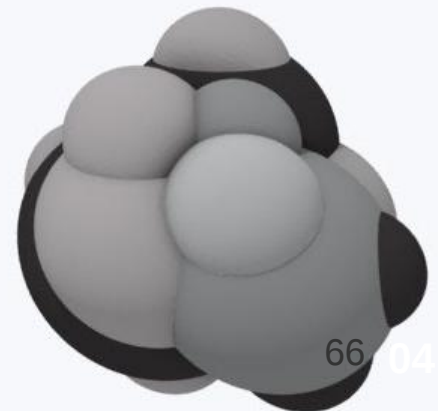


INSTRUMENTO DIGITAL



Uma palavra de 4 bits tem 2^4 níveis, ou seja, 16 níveis

Entrada em volts	Palavra	Sinal
0,0	0 0 0 0	
0,1	0 0 0 1	
0,2	0 0 1 0	
0,3	0 0 1 1	
0,4	0 1 0 0	
0,5	0 1 0 1	
0,6	0 1 1 0	
0,7	0 1 1 1	
0,8	1 0 0 0	
0,9	1 0 0 1	
1,0	1 0 1 0	
1,1	1 0 1 1	
1,2	1 1 0 0	
1,3	1 1 0 1	
1,4	1 1 1 0	
1,5	1 1 1 1	



INSTRUMENTO DIGITAL



RESOLUÇÃO DO CONVERSOR

Com uma conversão de 4 bits, o menor sinal de entrada que produzirá uma mudança na saída binária é 0,1V. **Isso é conhecido como resolução do conversor.**

Uma mudança menor que 0,1V na entrada **não produzirá** nenhuma mudança na saída digital.



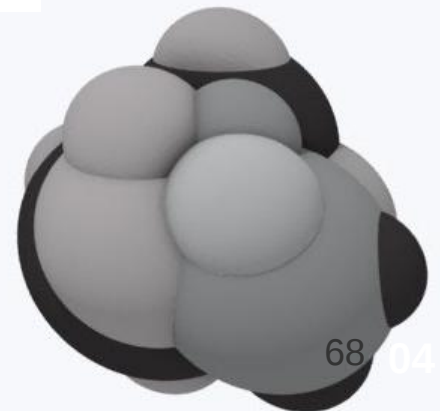
INSTRUMENTO DIGITAL



A resolução de um conversor A/D com N bits pode ser calculada por:

$$R = \frac{V_{\text{entrada_max}} - V_{\text{entrada_min}}}{2^N}$$

Onde N é o número de bits do conversor A/D.

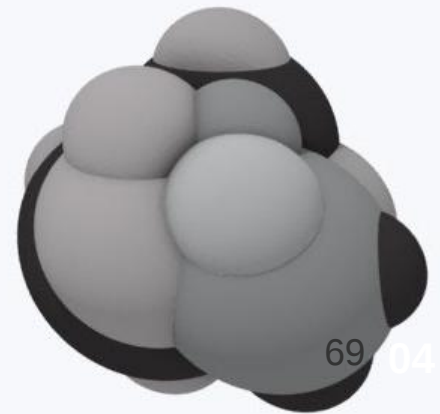


INSTRUMENTO DIGITAL



Um conversor de 8 bits tem sua escala dividida em $2^8 = 256$ partes.

Assim, caso um conversor tenha um fundo de escala de 5V, a menor tensão que ele consegue “ler” é $5V/256 \text{ partes} \cong 0,0195 \text{ V} \cong 19 \text{ mV}$.

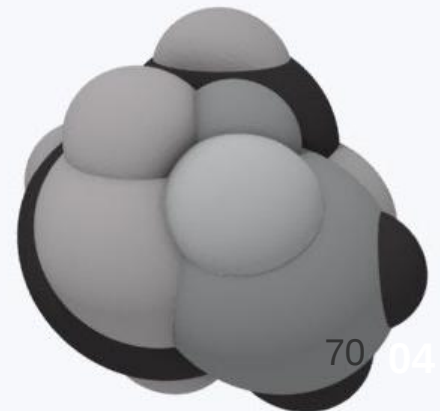


INSTRUMENTO DIGITAL



TEMPO DE CONVERSÃO

Especifica o tempo que tarda o conversor em gerar uma palavra digital, quando é colocado um sinal analógico na sua entrada.

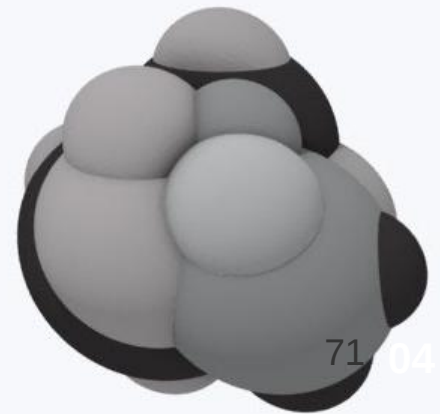


INSTRUMENTO DIGITAL



TIPOS DE CONVERSORES A/D MAIS COMUNS

- (a) aproximações sucessivas;
- (b) flash;
- (c) rampa;
- (d) dupla rampa e
- (e) tensão-frequência.



INSTRUMENTO DIGITAL



TIPOS DE CONVERSORES A/D MAIS COMUNS

Os conversores de *aproximações sucessivas*, *flash* e *rampa* são exemplos de *conversores de “amostragem”*; eles proporcionam o valor digital equivalente à tensão analógica no instante em que é realizada a amostragem.

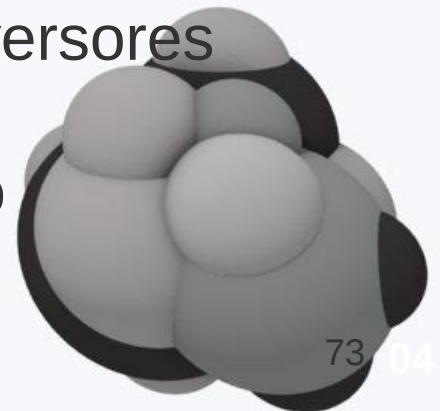


INSTRUMENTO DIGITAL



TIPOS DE CONVERSORES A/D MAIS COMUNS

Os conversores de dupla-rampa e tensão-freqüência são exemplos de conversores integradores, no qual é calculado o valor médio sobre um tempo fixo de medida. Esses conversores demoram mais tempo para fornecer a leitura, porém são menos sensíveis a ruído, devido ao Tipo de processamento matemático utilizado.

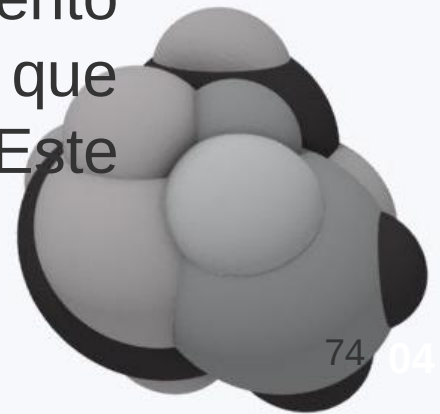


INSTRUMENTO DIGITAL



O CONVERSOR A/D DO TIPO APROXIMAÇÕES SUCESSIVAS

Realiza uma amostragem da tensão analógica de entrada, e esta amostra é comparada com uma tensão gerada internamente ao medidor. Esta tensão de comparação cresce em incrementos até chegar ao valor da tensão de entrada. Cada aumento incremental de tensão é produzido por um “clock” que produz uma seqüência regular de impulsos. Este impulsos são contados originando a conversão analógico-digital.



INSTRUMENTO DIGITAL



O CONVERSOR A/D DO TIPO APROXIMAÇÕES SUCESSIVAS

1- Tipicamente, um medidor de 8 bits terá um tempo de conversão de $10\ \mu\text{s}$.

2- A frequência de amostragem típica é da ordem de 1.000 por segundo ou mais.

Sendo assim, um voltímetro digital de aproximações sucessivas tem uma das respostas mais rápidas (balanças de laboratório bem como os conversores usados para aquisição e processamento de dados via computador).

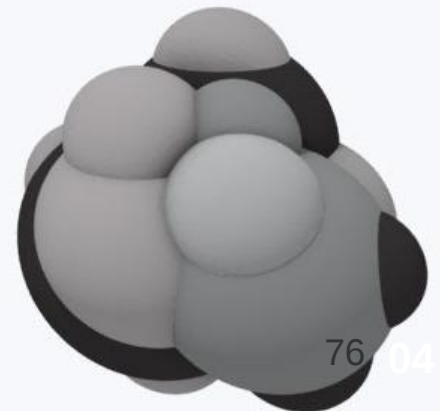


INSTRUMENTO DIGITAL



O CONVERSOR A/D DO TIPO FLASH

É utilizado para conversão muito rápida (como o próprio nome sugere) onde se realizam comparações simultâneas entre o sinal analógico e o sinal de referência. Para uma conversão de N bits se utilizam $2^n - 1$ comparadores, um para cada dígito. Tais conversores podem ter uma conversão na ordem dos ns.



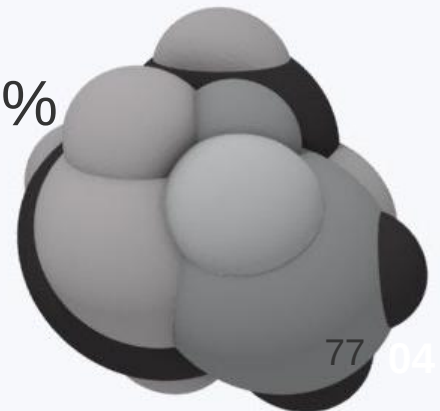
INSTRUMENTO DIGITAL



O CONVERSOR A/D DO TIPO RAMPA

É o mais simples e mais barato dos voltímetros digitais; a voltagem analógica é aplicada ao comparador e se mede o tempo para que a rampa de voltagem suba desde 0V até o valor da tensão analógica de entrada. O tempo é obtido na forma digital mediante um contador de número de impulsos produzidos por um “clock” .

A precisão está, normalmente, limitada a $\pm 0,05\%$ e a frequência de amostragem pode chegar a 1.000 amostras por segundo.



INSTRUMENTO DIGITAL



O CONVERSOR A/D DO TIPO TENSÃO-FREQÜÊNCIA

A tensão analógica aplicada na entrada é convertida numa série de impulsos cuja freqüência é proporcional à amplitude do sinal de entrada.

A freqüência é determinada contando o número de impulsos existentes num determinado intervalo de tempo conhecido.

Esse tipo de conversor é relativamente lento e praticamente caiu em desuso.

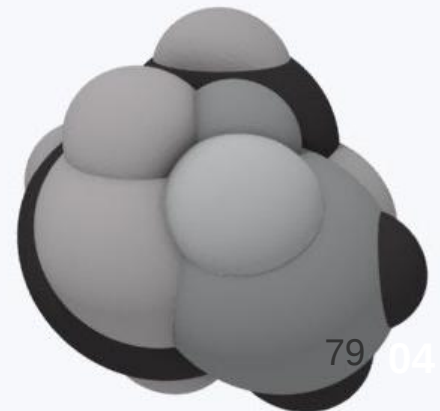


INSTRUMENTO DIGITAL



PRECISÃO NOS INSTRUMENTOS DIGITAIS

- 1- Um indicador digital proporciona uma leitura numérica que elimina o erro do operador em termos de interpolação e paralaxe;
- 2- Os valores lidos normalmente são expressos geralmente entre $3\frac{1}{2}$ e $8\frac{1}{2}$ dígitos;



INSTRUMENTO DIGITAL

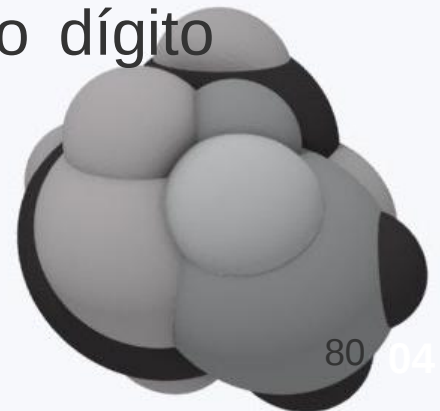


PRECISÃO NOS INSTRUMENTOS DIGITAIS

3- A resolução desses instrumentos é correspondente à mudança de tensão que faz variar o bit menos significativo no display do medidor;

4- A incerteza é uma combinação de fatores dado em uma percentagem e um número de bits, o qual indica quantas casas de incerteza podem “flutuar” o dígito menos significativo (LSB).

$$incerteza = \sqrt{(\%leitura)^2 + (dígitos)^2}$$

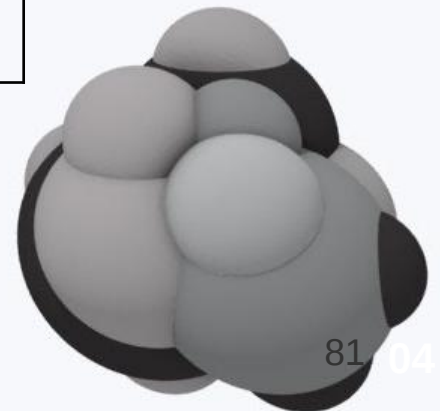


INSTRUMENTO DIGITAL



CONSIDERE UM INSTRUMENTO HIPO-TÉTICO, CUJA ESPECIFICAÇÃO ESTÁ NA TABELA ABAIXO.

Escala de Tensão
$\pm 0,5\%$ da leitura + 2 dígitos



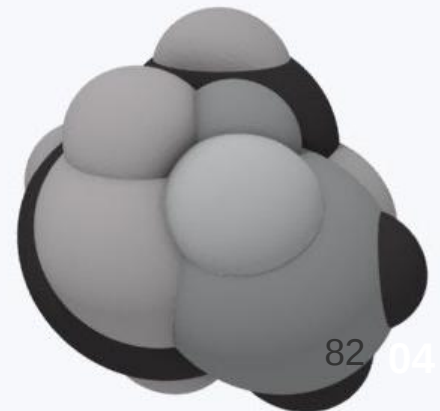
INSTRUMENTO DIGITAL



Exemplo: Um voltímetro, de $3\frac{1}{2}$ dígitos, é posicionado na escala de 20V, com resolução de 10mV e precisão de 0,5% + 2 dígitos.



A incerteza total é a soma de dois Fatores, ou seja: σ (sigma) = A + B.



INSTRUMENTO DIGITAL



O fator A é resultante do produto do valor da leitura pela incerteza em percentual indicado no manual do equipamento, considerando o número correto de algarismos significativos. No nosso caso:

$$A = 6,25 \times 0,5\% = 0,03125 = 0,03$$



INSTRUMENTO DIGITAL



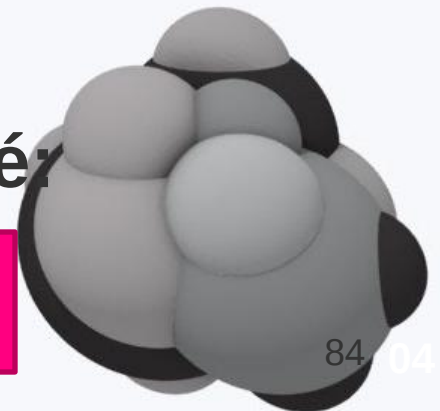
O fator B é a incerteza no dígito da última casa decimal mostrada no display, valor este indicado no manual de instruções do equipamento para cada escala.

Em nosso exemplo, o fator B é de 2 dígitos, ou seja:

$$B = 0,02$$

Assim, a leitura completa da medida é:

$$6,25 \pm (0,03 + 0,02) = 6,25 \pm 0,05V$$



INSTRUMENTO DIGITAL



OBSERVAÇÃO:

SEMPRE É IMPORTANTE CONSULTAR O MANUAL DO FABRICANTE, PORQUE O ERRO COMBINADO PODE MUDAR EM FUNÇÃO DA ESCALA OU DO TIPO DE VARIÁVEL A SER MEDIDA.

