

Capítulo 6 - Medição de rotação e torque



6.1 - Medição de rotação

Os instrumentos usados para medir a velocidade angular de eixos rotativos são chamados tacômetros.

Existem basicamente três tipos principais de tacômetros:

- mecânicos
- eletromagnéticos
- ópticos.

Uma das principais diferenças entre estes é a potência retirada do eixo que gira.

A velocidade angular, é a razão entre o deslocamento angular e o tempo decorrido neste deslocamento:

ω = rotação [rad/s]

n = rotação em [RPM]

n = rotação em [RPS]

Relação entre rotação e frequência

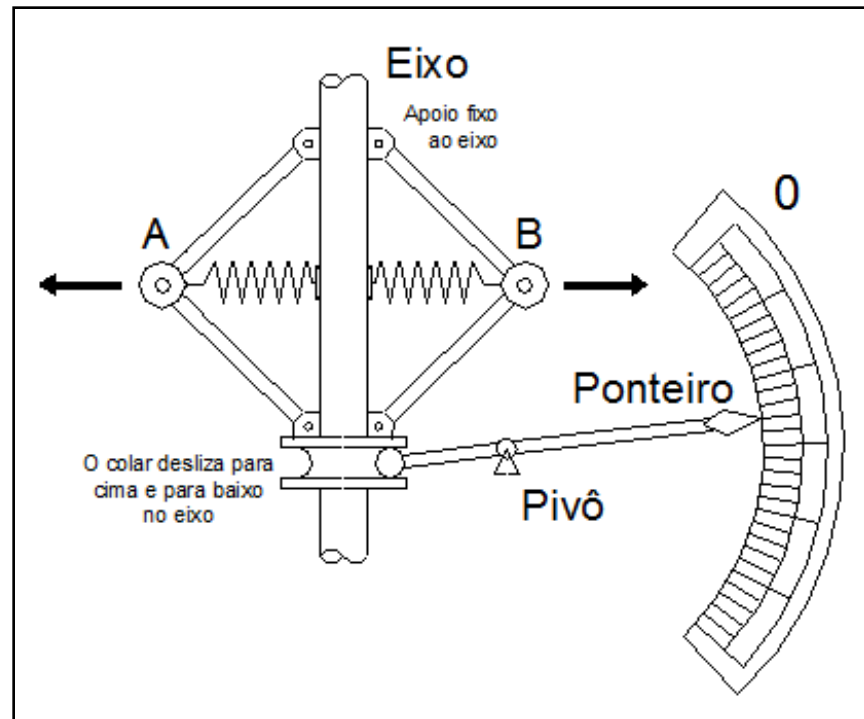
$\omega = 2\pi f$ [rad/s]

f = frequência [Hz]

6.1.1 - Tacômetros mecânicos

A figura ilustra uma das formas utilizadas como tacômetro, uma versão para utilização com eixos verticais.

As duas massas (A e B) são ligadas a braços articulados que giram com o eixo. Os braços sofrem a ação de uma força, o peso do colar, que tende a estira-los e os mantém próximos do eixo.

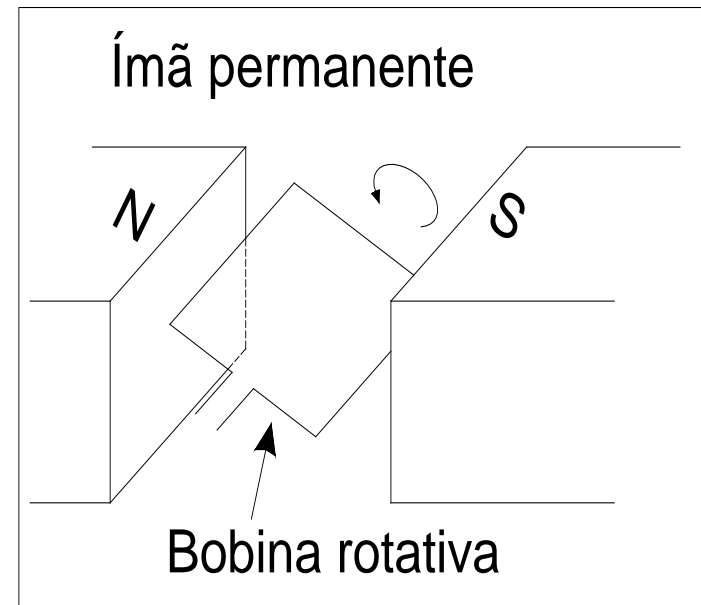


6.1.2 – Tacômetros elétricos

6.1.2.1 - Tacogerador

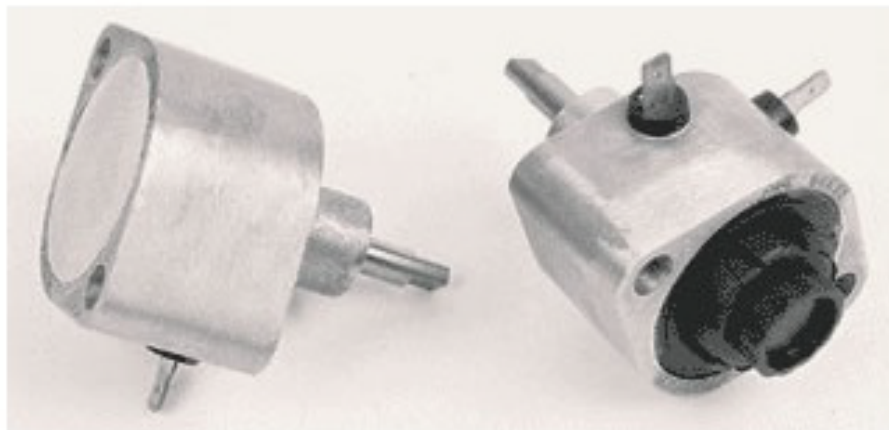
É essencialmente um pequeno gerador de eletricidade, quanto mais rápido gira a bobina, maior a fem nela induzida

Se as conexões elétricas forem feitas à bobina e a saída levada a um voltímetro, então a leitura do voltímetro estará relacionada à velocidade angular da bobina.



Os tacogeradores podem ser utilizados para medições diretas de rotações de eixos giratórios até cerca de 6 000 rpm, com uma precisão de, em geral, de 2%.

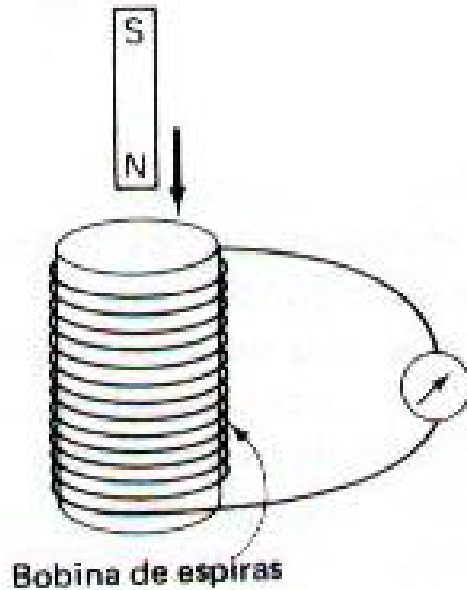
6.1.2.1 - Tacogerador



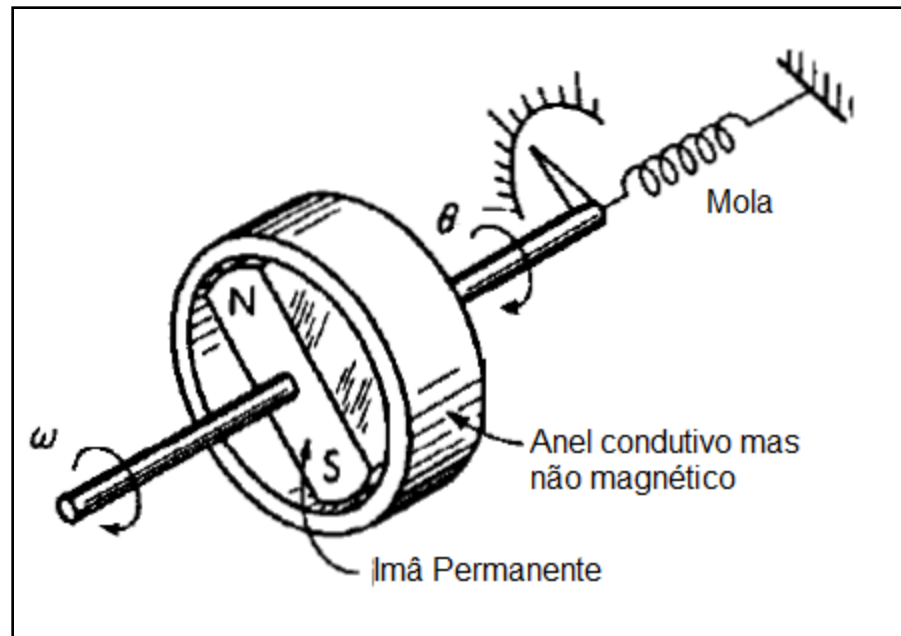
Código Code	Modelo Model	Tensão @ Voltage 1000 RPM	Internal Resistance (Wp±10%)
074-007	825/005	5V~	18
074-001	825/01	10V~	56
074-002	825/02	20V~	117
074-003	825/03	30V~	288
074-004	825/04	40V~	450
074-005	825/05	50V~	750
074-006	825/06	60V~	1150

6.1.2.2 - Tacômetro de corrente parasita

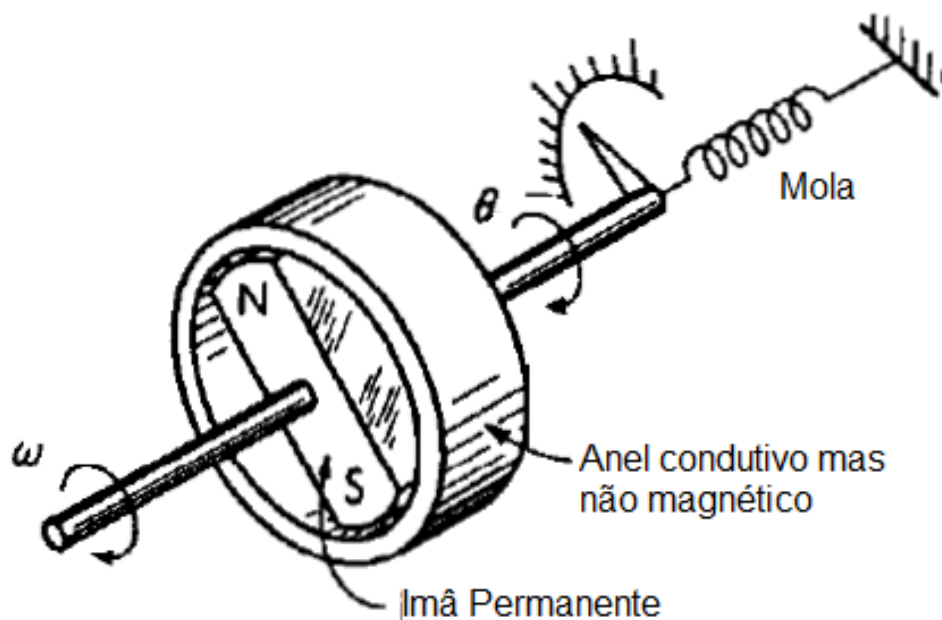
Quando há movimento relativo entre um ímã e um condutor, são induzidas correntes no condutor. O efeito é chamado de indução eletromagnética.



Se um ímã permanente é ligado ao eixo rotativo (que se deseja medir a rotação) e gira próximo a um anel de alumínio (condutor), são induzidas correntes parasitas (ou de Foucault) no alumínio.



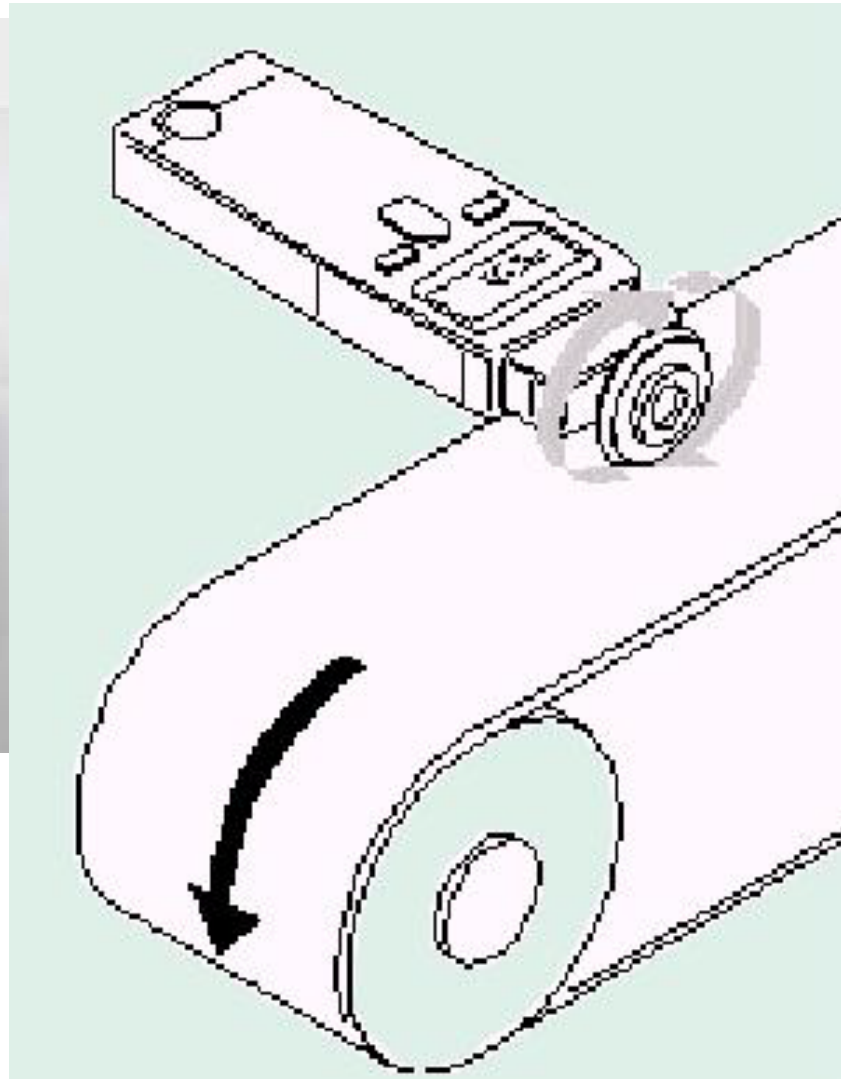
As correntes parasitas que fluem no anel de alumínio produzem seu próprio campo magnético, sendo que o campo magnético induzido tem direção tal que faz o anel de alumínio girar e seguir o ímã permanente rotativo.



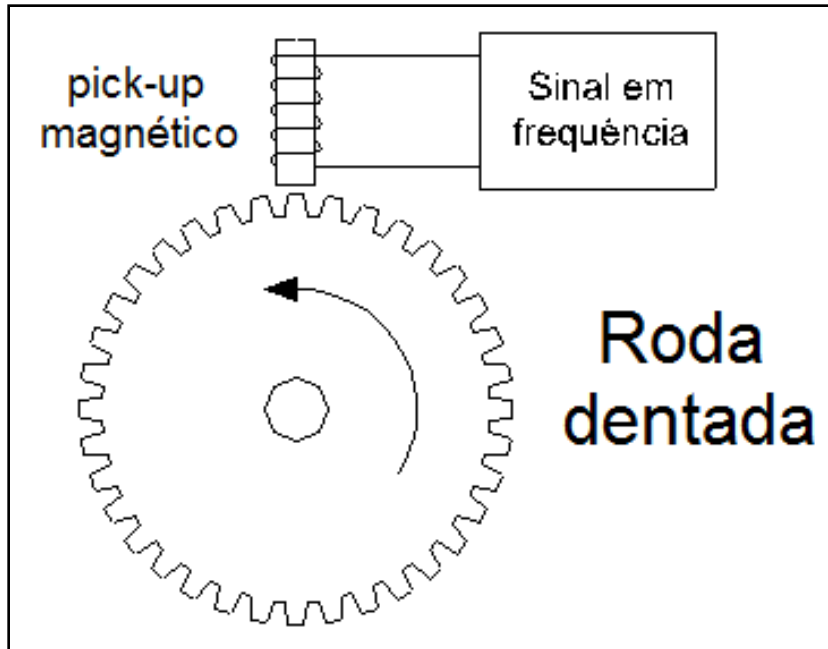
No arranjo mostrado na figura, o anel de alumínio é fixado em uma das extremidades de uma mola espiral onde se coloca o ponteiro indicador.

Como resultado, o anel de alumínio age sobre a mola de tal maneira que o torque de reação da mola se opõe ao torque produzido pela interação entre o ímã permanente rotativo e as correntes parasitas no anel de alumínio, fazendo com que o ponteiro se posicione sobre a escala, indicando a rotação.

Figuras de tacômetros de correntes parasitas



6.1.2.3 - Tacômetro indutivo



Uma roda dentada metálica é presa ao eixo rotativo. Quando os dentes da roda se movem à frente do “pick-up magnético” é produzida uma variação no fluxo magnético no núcleo da bobina, e isso resulta na indução de uma f.e.m. (tensão variável) no circuito da bobina.

Cada dente que passa na frente do pick-up magnético resulta em um pulso de voltagem na bobina.

A frequência desses pulsos – isto é, o número de pulsos produzidos por segundo – está relacionada a rotação.

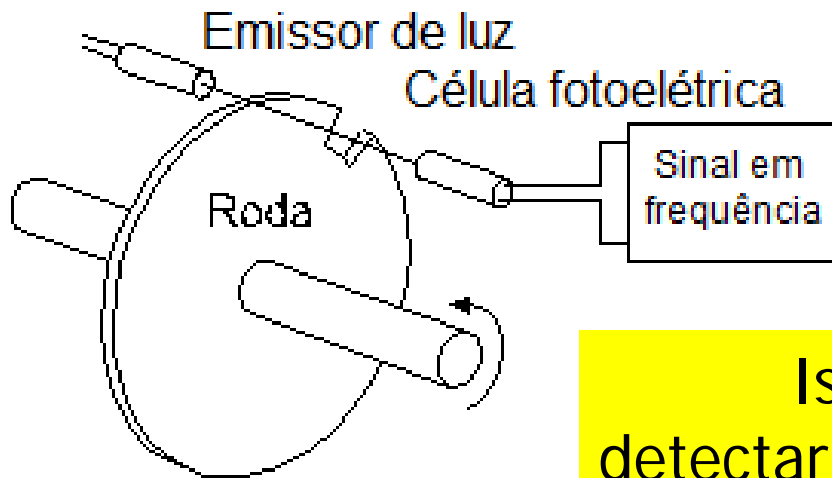
Um circuito eletrônico apropriado converte este sinal em frequência (trem de pulsos) em uma indicação digital da rotação da roda.



pick-up magnético



6.1.2.4 - Tacômetro fotoelétrico



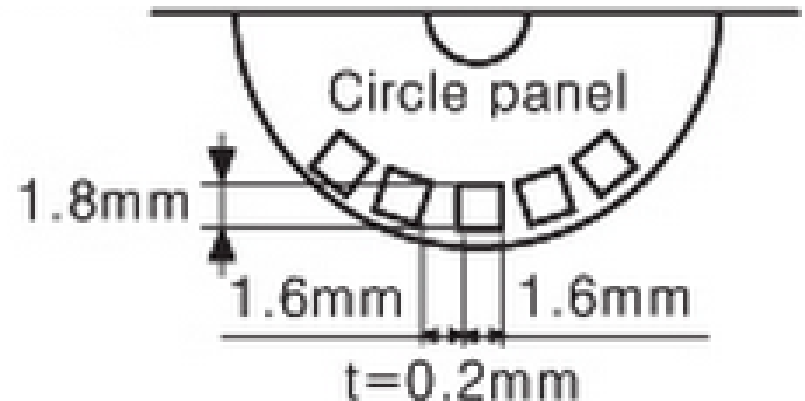
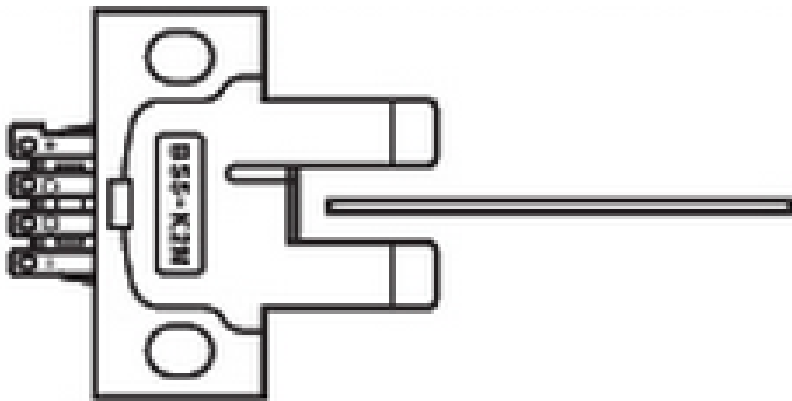
Um disco pulsador é associado ao eixo e, quando este gira, o feixe de luz é "cortado".

Isso faz a célula fotoelétrica detectar pulsos de luz, estando a frequência na qual recebe os pulsos relacionada a rotação do eixo.

O sistema de medição tem assim um sensor, conectado através de um condicionador de sinais (amplificador e conversor analógico digital) a um mostrador digital.

Não aplicam nenhuma carga sobre o eixo (exceto a inércia do disco) pois não há conexão física entre o sistema de medição e o eixo.

Este tipo de tacômetro pode ser classificado como tacômetro de efeito óptico.



6.1.3 – Tacômetros ópticos

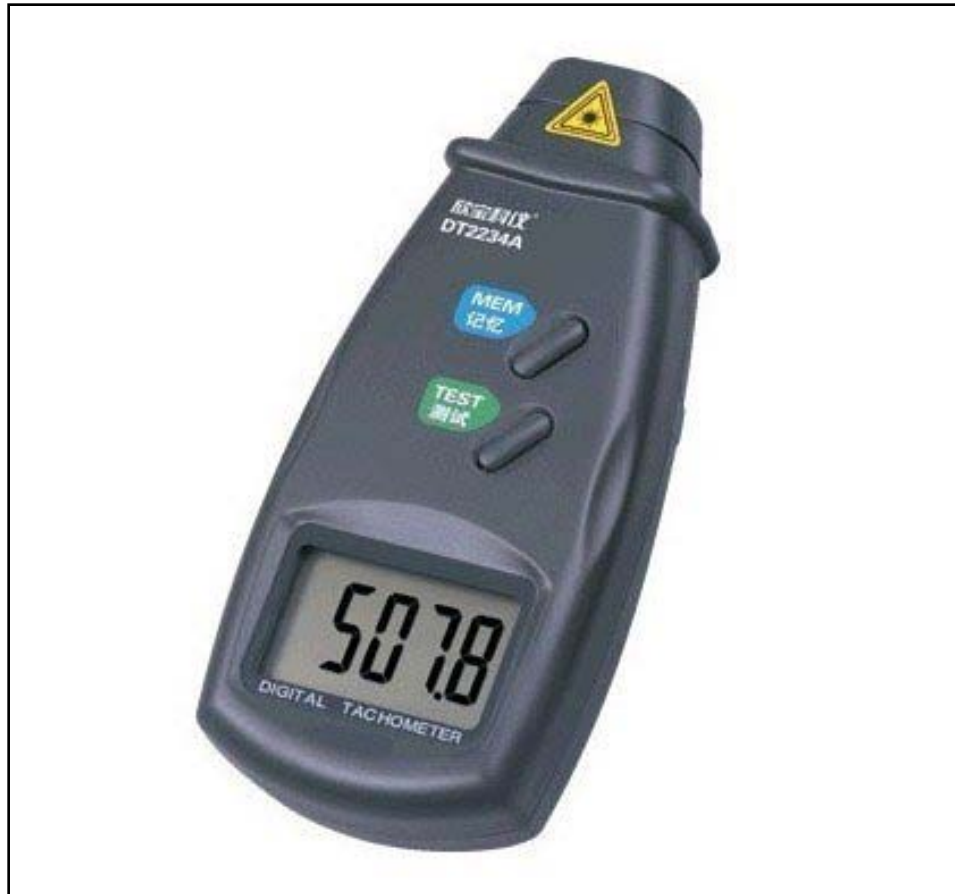
6.1.3.1 - Tacômetro de laser refletido

Este tipo de tacômetro portátil utiliza uma fonte de luz laser sobre um alvo reflectivo sobre o objeto que se deseja medir a rotação.

A reflexão do fecho de luz laser sobre sua célula fotoelétrica gera um sinal em frequência a partir desta célula que está relacionada com a frequência ou rotação do objeto.

De maneira semelhante ao tacômetro fotoelétrico, um circuito conversor do instrumento portátil, permite a indicação digital da rotação medida.

Figuras de tacômetros de laser refletido



6.1.3.2 - Estroboscópio

O estroboscópio é uma luz intermitente, cuja frequência é conhecida.

No eixo onde é realizada a medida de rotação faz-se uma marca que deve ser observada pela incidência da luz intermitente a cada rotação.

Se a frequência da emissão da luz for a mesma que a frequência do eixo, a marca aparentará estar estacionária, porque o eixo e sua marcação somente serão iluminados quando a marca estiver na mesma posição a cada rotação.

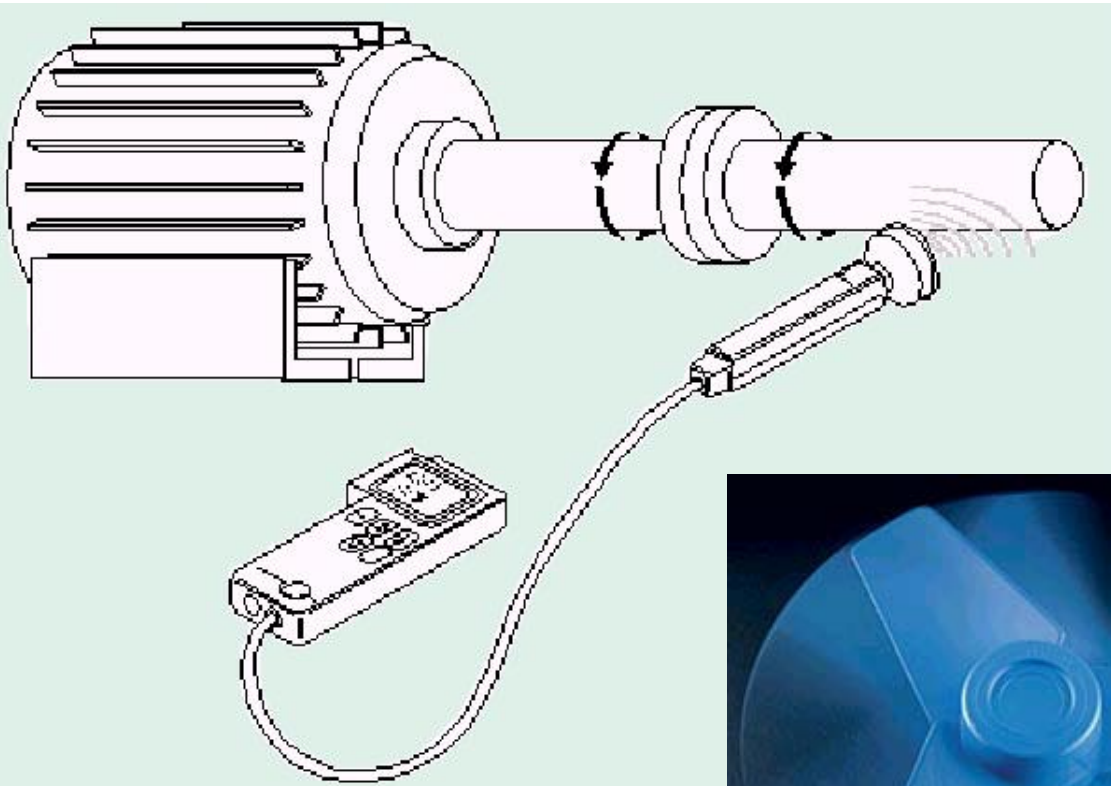
Quando a marca parecer mover-se, será devido ao fato de que a frequência do estroboscópio é diferente da frequência de rotação do eixo.

Assim uma medição de frequência da luz intermitente fornece uma medida da frequência de rotação do eixo.

A marca no eixo parecerá estacionária quando a frequência de rotação do eixo for um múltiplo inteiro da frequência da luz.

Isso é devido ao fato do eixo poder fazer qualquer número de rotações entre os lampejos, e a marca parecerá estar estacionária, desde que, no intervalo entre os lampejos, o eixo faça um número inteiro de rotações completas.

Figuras de estroboscópios como tacômetros

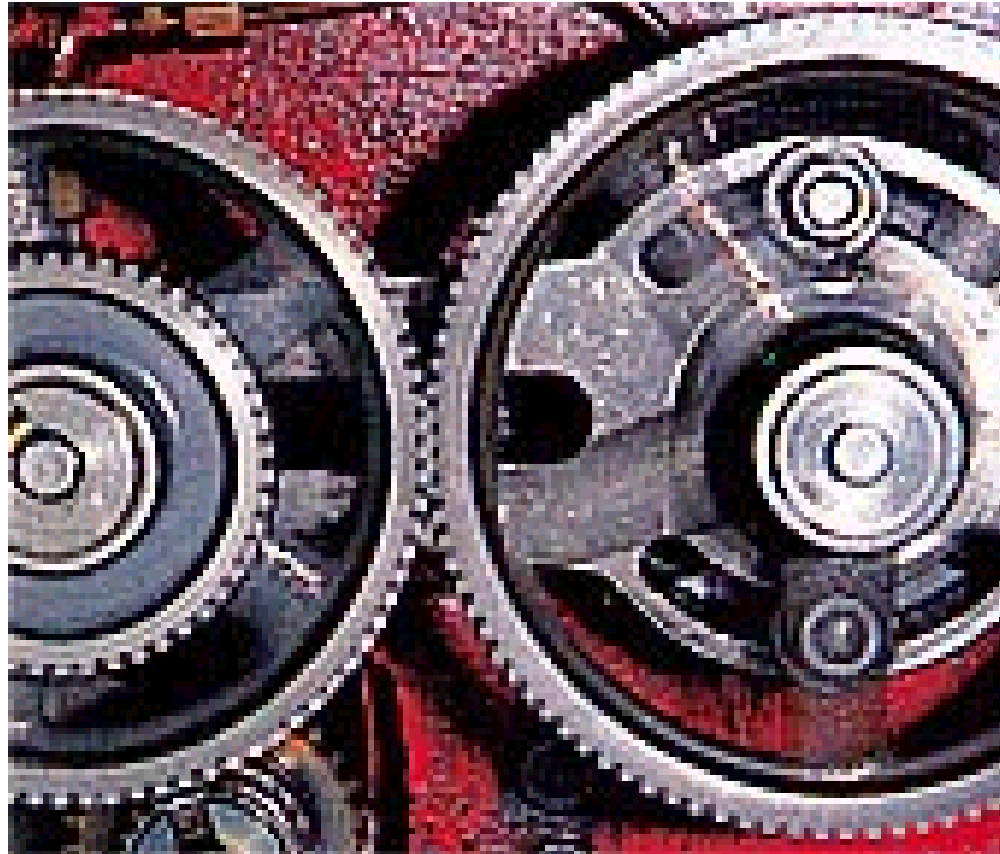


Figuras de estroboscópios como tacômetros

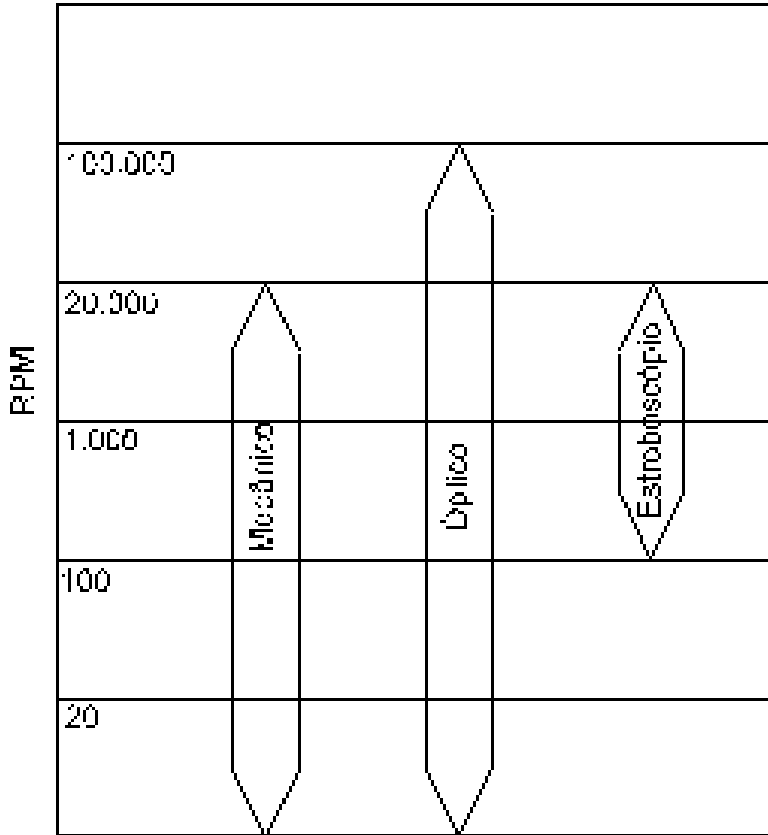


Outras aplicações para estroboscópios

- Medição do número de oscilações;
- Usado para detectar resvalamento (choques intermitentes);
- Análise de movimento por congelamento.



Comparação entre os tipos



- Tacogerador: pouca carga imposta ao eixo; faixa de até 6.000 [RPM]; fornece exposição à distancia; precisão similar ao tacômetro de corrente parasita; relativamente barata.

- Tacômetro de captação de sinal digital: pouca carga imposta ao eixo; faixas de até 100.000 rpm; fornece exposição à distancia; pode ser preciso; não é barato.

- Estroboscópio: nenhuma carga imposta ao eixo; faixa geralmente de até 18.000 rpm; o eixo tem que ser observado; muito preciso.

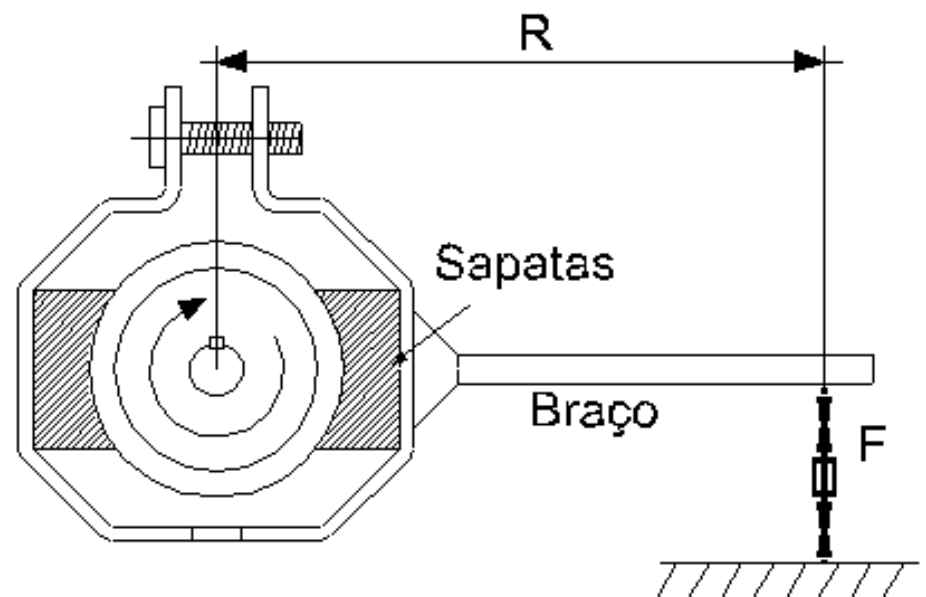
6.2 - Medição de torque



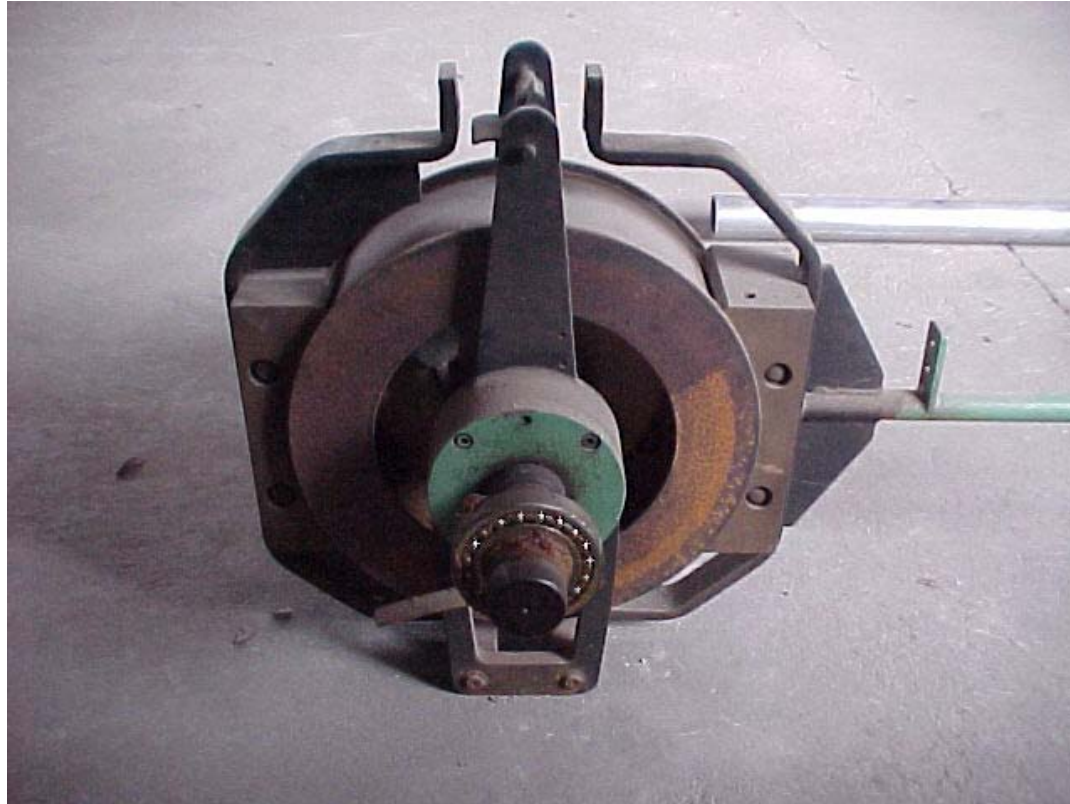
6.2.1 - Freio Prony

Um volante fixo ao eixo circundado por sapatas, conectadas a um braço cuja extremidade se apóia sobre um medidor de força.

O volante acionado pela máquina motora, tem o seu movimento restringido pelo atrito aplicado pelas sapatas, que transmite o esforço ao braço apoiado sobre o medidor.



A partir das leituras de força, calcula-se o torque despendido pelo motor.



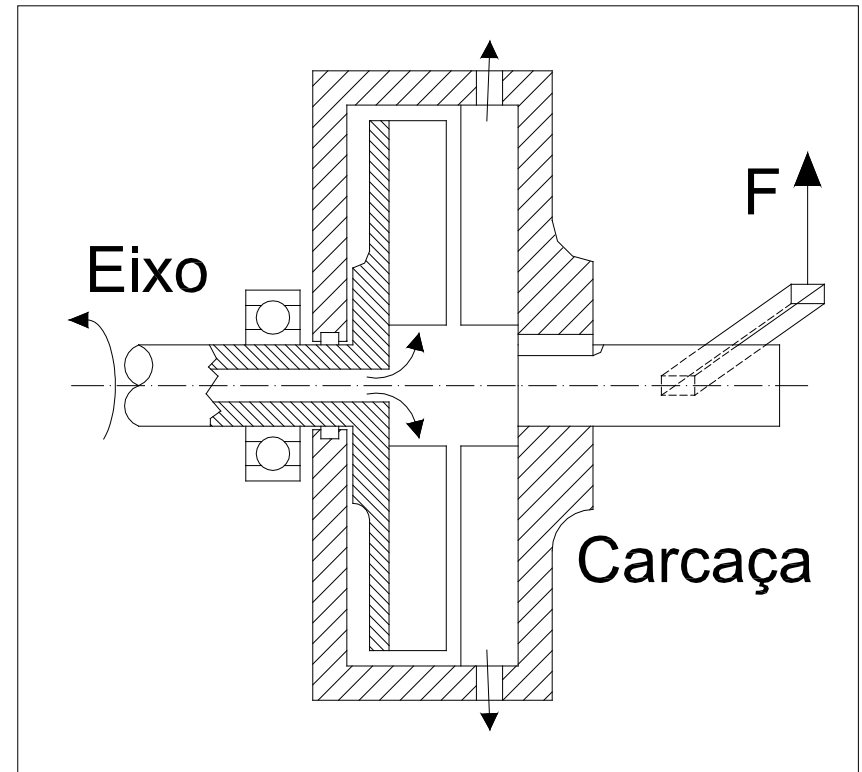
O freio de Prony apresenta vários inconvenientes operacionais, destacando-se o fato de manter a carga constante independente da rotação empregada.

6.2.2 - Freio hidráulico

O freio hidráulico possui um rotor aletado que gira no interior de uma carcaça com estatores também aletados.

A água entra na câmara do rotor axialmente, ao centro.

Pela ação centrífuga, a água é acelerada e lançada para a saída, formando um anel no interior da câmara do rotor.



A energia mecânica fornecida pela máquina motora em ensaio é absorvida e convertida em calor no escoamento da água entre as aletas do rotor e dos estatores.

O torque resultante aplica uma resistência ao movimento de rotação do rotor e tende a girar a carcaça no mesmo sentido da máquina em teste.

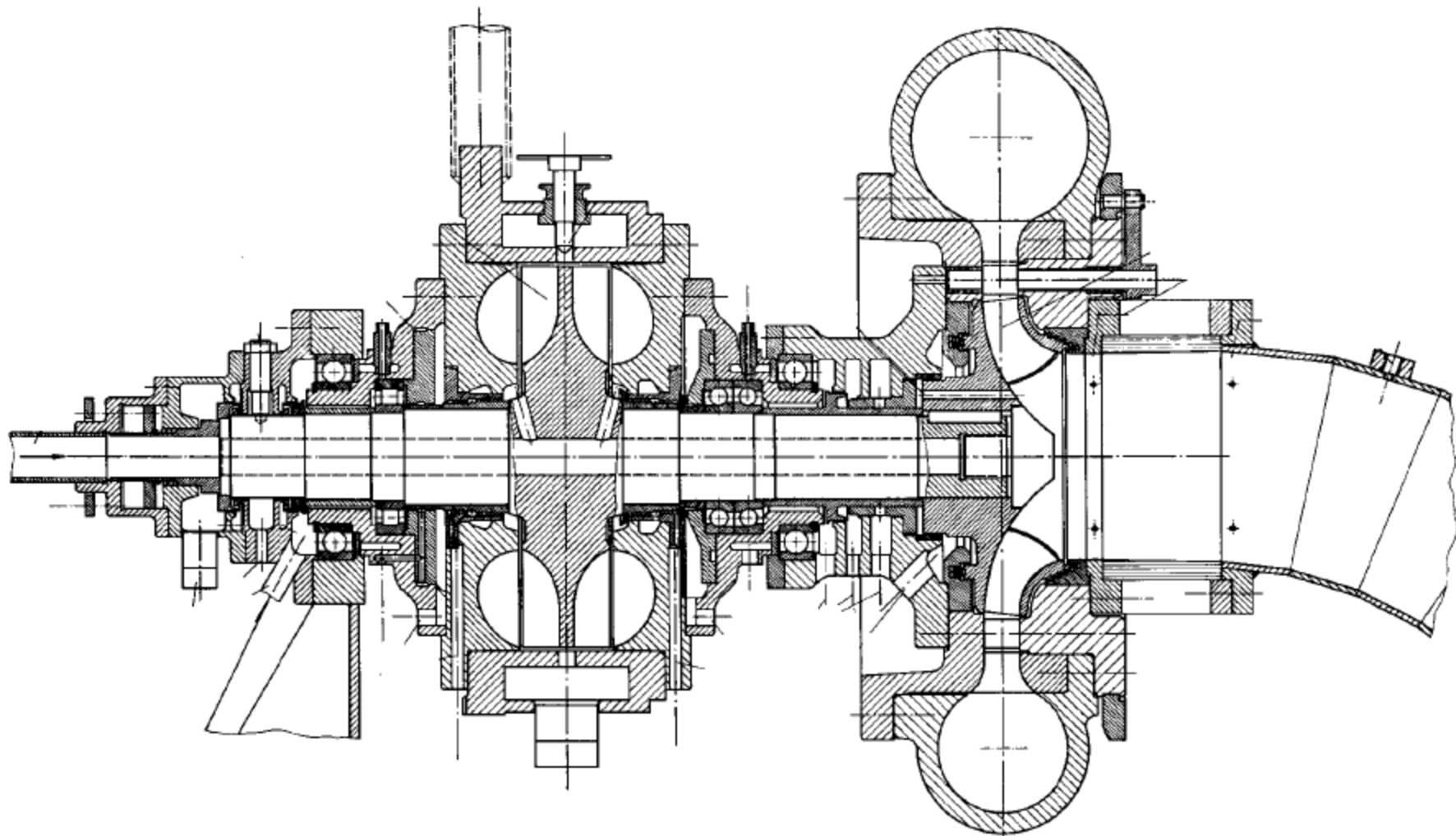
Este esforço é transmitido, por meio de um braço, a um medidor de força instalado a uma distância fixa da linha de centro do freio.



Exemplos construtivos de freios hidráulicos



Bancada de testes de turbina hidráulica

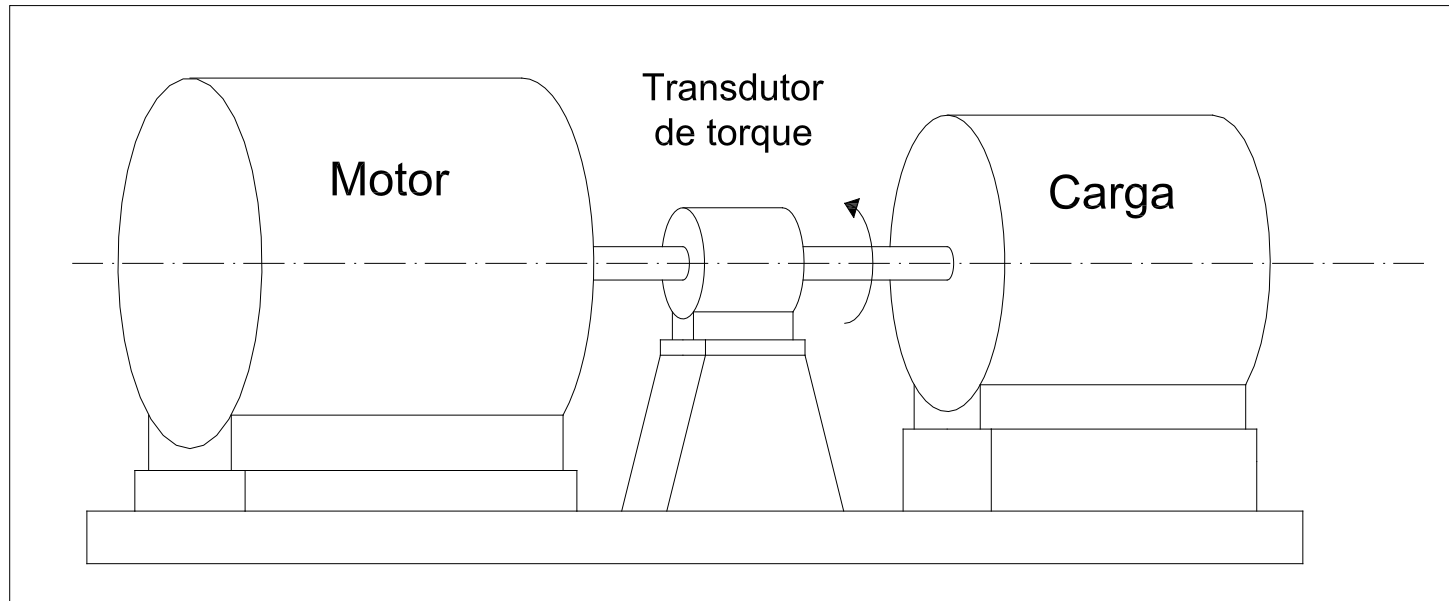


Freio hidráulico

Turbina

6.2.3 – Transdutores de torque

Os transdutores de torque permitem a medição direta de torque em um eixo, sendo estes medidores instalados entre a carga mecânica e o motor (elemento primário de potência), conforme ilustra a figura.

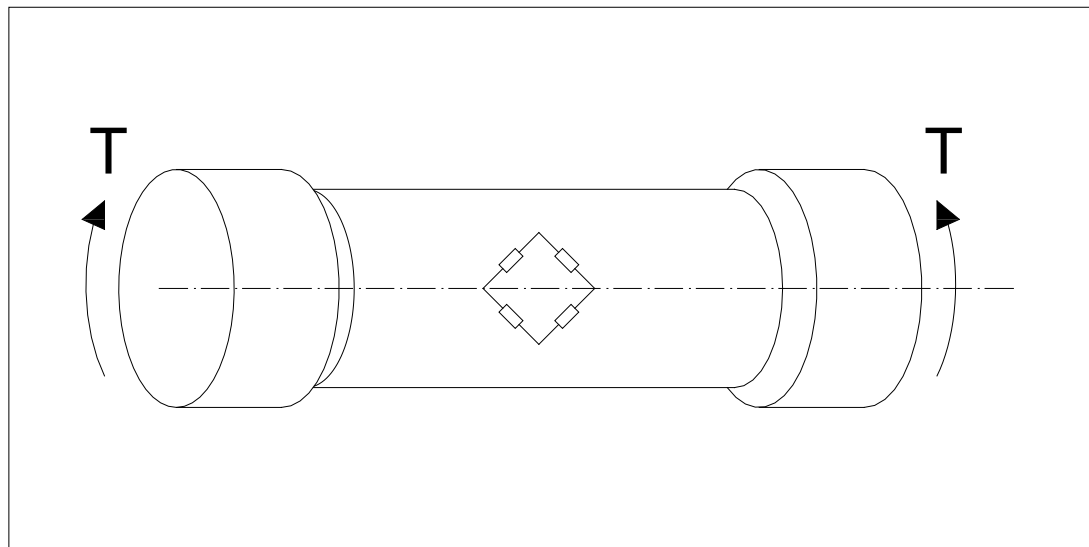


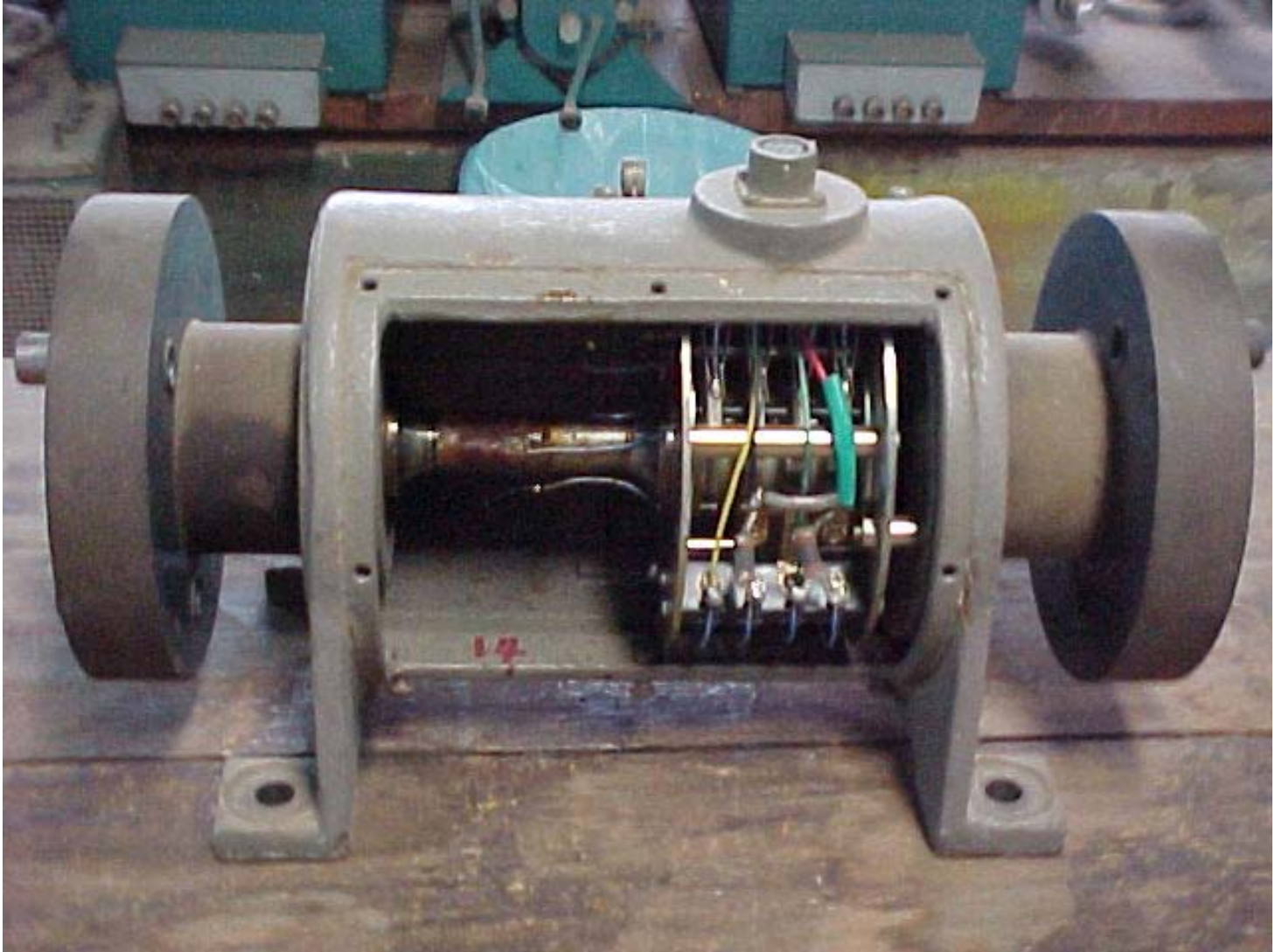
Devido a estas características de montagem, os transdutores são basicamente utilizados no desenvolvimento de máquinas rotativas em laboratórios, tais como, ventiladores, bombas, turbinas e etc.

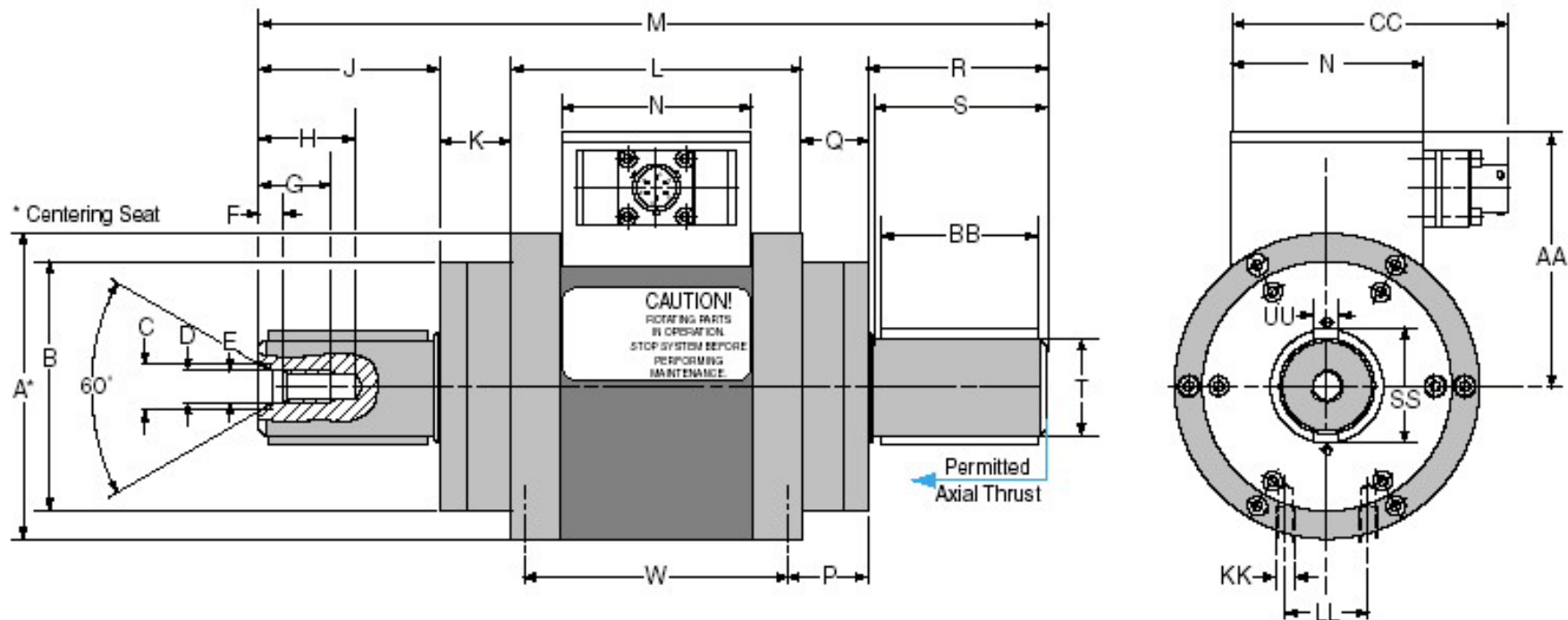
Existem basicamente dois tipos de transdutores de torque, os que utilizam strains gages e os que utilizam sensores de deslocamento indutivos.

De maneira semelhante aos transdutores de força (células de carga), os transdutores de torque podem utilizar as várias configurações possíveis de montagem de strain-gages fixos ao eixo onde se está medindo o torque.

Normalmente, são utilizados quatro strain-gages dispostos em 45° , como mostra a figura.







Modelo	units	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	P
212/432	mm	∅ 96g6	∅ 78	∅ 14.9	∅ 10.5	M10	7.5	22	30	46.4	22.8	91	228	25
	in	∅ 3.7791 3.7782	∅ 3.071	∅ 0.587	∅ 0.413	M10	0.295	0.866	1.181	1.827	0.898	3.583	8.976	0.984

Modelo	units	N	Q	R	S	T	W	AA	BB	CC	KK	LL	SS	UU
212/432	mm	60	21	46.8	45	∅ 30h6	83	80	42	87	M6x8	26	36	8h9
	in	2.362	0.827	1.842	1.772	∅ 1.8111 1.8106	3.268	3.150	1.653	3.425	M6x0.315	1.024	1.417	0.3150 0.3135

6.2.4 - Dinamômetro elétrico

Dinamômetro elétrico é um gerador elétrico de corrente contínua, que acionado pela máquina em teste (motor de combustão, turbina hidráulica, e etc.) produz energia elétrica, a qual será consumida por uma carga variável (cuba eletrolítica ou resistores), e devido a construção em balanço da sua carcaça permite, ao mesmo tempo, a medição de torque através de contra-pesos ou células de carga.

Tem a vantagem de poder ser utilizado como motor elétrico para medição de potência de atrito da máquina em prova. Tem custo elevado e sua utilização só se justifica em casos especiais.

