

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA FONSECA

CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ELE 1187 - MECATRÔNICA

EMENTA:

Estudo dos sistemas mecatrônicos, elementos mecânicos de geração, conversão e transmissão do movimento, monitorados e controlados através da associação de dispositivos elétricos e eletrônicos.

OBJETIVOS GERAIS:

Ao final do curso o aluno deverá ser capaz de identificar as partes integrantes de um sistema mecatrônico, seus elementos mecânicos, elétricos e eletrônicos e compreender o comportamento de um elemento isolado e sua participação no funcionamento de um conjunto mecatrônico e suas aplicações.

BIBLIOGRAFIA:

Bibliografia Básica:

- BOYLESTAD, R.L. NASHELSKY, L. Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos 6^a.ed, Rio de Janeiro
LTC Editora, 1999
- PALMA, J.C.P. - Accionamentos Eletromecânicos de Velocidade Variável 1^a ed. Lisboa
Edição da Fundação Calouste Gulbenkian, 1999

Bibliografia Complementar:

- NATALE, Ferdinando, Automação Industrial, 1^a ed. São Paulo,
Editora Érica, 2000
- Notas de Aula;

PROGRAMA:

1. Elementos de Transmissão e Conversão do Movimento Mecânico

1.1 Introdução à Transmissão do Movimento

1.1.1 Tipos de Movimento

1.2 Modos de Transmissão do Movimento

1.3 Elementos de Transmissão do Movimento

1.3.1 Eixos-Árvore

1.3.2 Polias e Correias

1.3.2 Correntes

1.3.3 Cabos

1.3.4 Roscas de transmissão

1.3.5 Engrenagens

1.3.6 Cames

1.3.7 Acoplamentos

1.4 Caixas de Redução

2. Sensoriamento

2.1 Sensores e Transdutores

2.2 Características Estáticas e Dinâmicas dos Sensores

2.2.1 Precisão, Linearidade, Histerese, Repetibilidade, Faixa Morta, Sensibilidade.

2.3 Sensores Digitais e Analógicos

2.3.1 Sensores Mecânicos de Contato, Chaves (Switch's)

2.3.2 Sensores Resistivos

2.3.3 Sensores Capacitivos

2.2.4 Sensores Indutivos

2.3.5 Sensores Piezoelétricos

2.3.6 Sensores Optoeletrônicos

3. Condicionamento de Sinal

3.1 Sinais Analógicos e Digitais

3.2 Amplificador Diferencial

- 3.3 Amplificador Operacional Integrado AOP
 - 3.3.1 Características Ideais
 - 3.3.2 Características Reais
 - 3.3.3 Modos de operação
 - 3.3.4 Circuitos Lineares Básicos com AOP
 - 3.3.4.1 Amplificador Inversor, Não-Inversor, Seguidor de Tensão, Somador, Subtrator, Fontes Controladas
 - 3.3.5 Circuitos não Lineares com AOP
 - 3.3.5.1 Comparador
 - 3.3.5.1 Comparador Regenerativo Schmitt Trigger
- 4. Filtros
 - 4.1 Decibel
 - 4.2 Diagrama de Bode
 - 4.3 Filtros passivos
 - 4.3.1 Filtros Passa Baixa, Passa Alta, Passa Faixa, Rejeita Faixa.
 - 4.4 Filtros Ativos
- 5. Atuadores
 - 5.1 Eletromagnéticos
 - 5.1.1 Solenóides
 - 5.1.2 Motores Elétricos
 - 5.2 Pneumáticos e Hidráulicos
 - 5.2.1 Válvulas Solenóide
 - 5.2.2 Motores Hidráulicos e Pneumáticos
- 6. Controle Eletrônico de Motores Elétricos
 - 6.1 Histórico do Controle Automático
 - 6.2 Malhas de Controle
 - 6.2 Diagramas em Blocos
 - 6.3 Modos de Controle
 - 6.3.1 Liga-Desliga, Proporcional, Proporcional e Integral, Proporcional e Integral e Derivativo.
 - 6.4 Dispositivos Eletrônicos de Potência
 - 6.4.1 SCR, DIAC, TRIAC, SCS, GTO, IGBT
- 7. Sistemas Amostrados
 - 7.1 Conversão AD/DA
 - 7.2 Controle Digital
- 8. Controladores Lógicos Programáveis

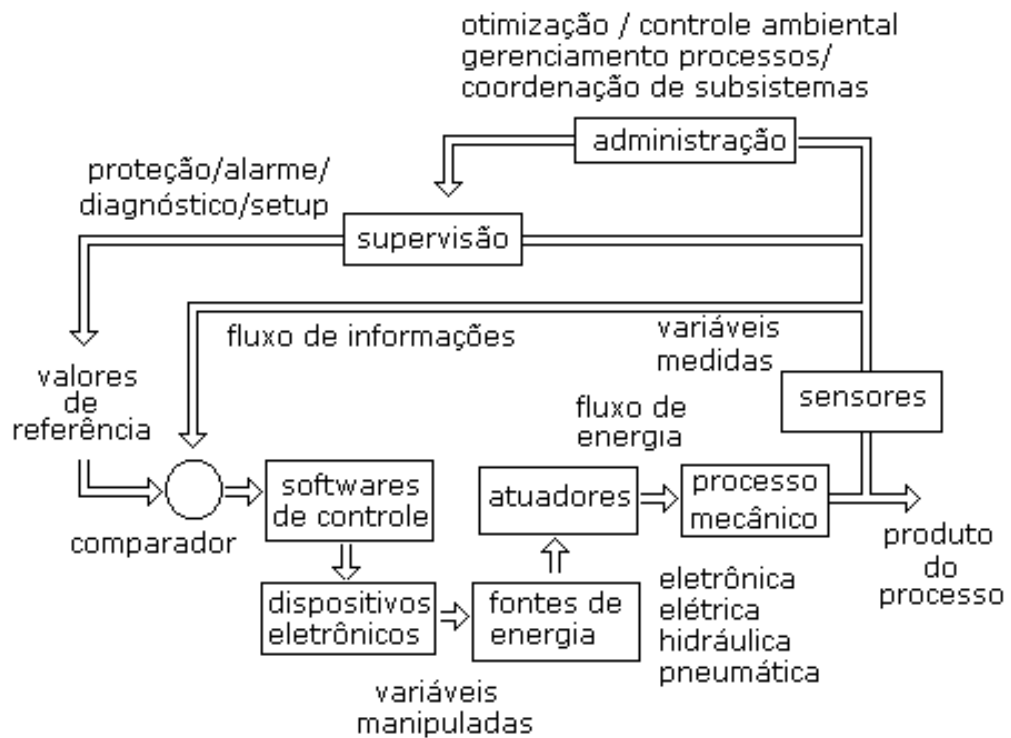
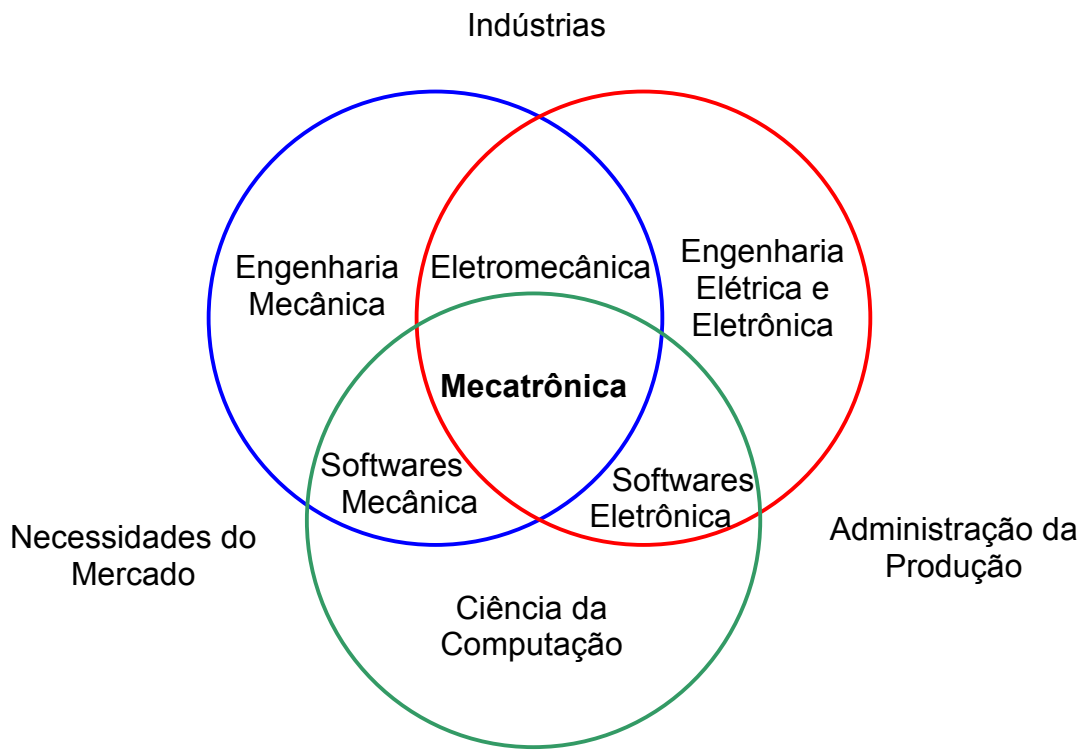
INTRODUÇÃO À MECATRÔNICA

O século 20 caracteriza-se pelos grandes passos que foram dados na ciência e na tecnologia. Na primeira metade, os desenvolvimentos foram predominantemente de equipamentos (hardware). Durante este período aumentaram consideravelmente a complexidade mecânica, a precisão e a velocidade da maquinaria de produção nas instalações industriais. Este período pode então ser chamado da era do hardware. De modo similar, a segunda metade pode ser chamada da era da programação (software), porque foi este o fator dominante neste período. No início a eletrônica, que estava confinada a área de comunicações, penetrou nas instalações industriais e o nível de automação aumentou consideravelmente na forma da automação rígida (específica para determinado produto). O desenvolvimento dos microprocessadores na década de 70 forneceu um novo estímulo para a evolução industrial. Pelo uso do software adequado foi possível realizar tarefas complexas de um modo simples. Em estágios posteriores aconteceu a fusão sinérgica de diversas tecnologias e da ciência da computação, e como resultado a automação rígida deixou seu lugar para a automação flexível (adaptável a diversos produtos), culminando nos processos controlados por computador que possuem um certo grau de inteligência e autonomia. Assim nasce a era da mecatrônica que caracteriza-se pela fusão de diversas tecnologias e por um ciclo de vida mais curto para os produtos.

O termo mecatrônica foi criado no Japão na década de 60 para definir o controle de motores elétricos, e desde então a palavra ficou popular no mundo todo. Na década de 70 a mecatrônica era em sua maioria designada para funções como as de controle de portões automáticos e de auto-foco em máquinas fotográficas. A palavra mecatrônica vem das palavras mecânica e eletrônica e foi usada para descrever uma linha de produtos que envolviam na sua elaboração conceitos de engenharia mecânica, de engenharia eletrônica e de ciência da computação. Não se trata de uma simples combinação de assuntos, mas de uma abordagem sistemática unificada para a projeto e manufatura do produto. Os conhecimentos requeridos para fabricar um produto mecatrônico são realmente multidisciplinares. Uma definição formal de mecatrônica é dada pelo Comitê Assessor para Pesquisa e Desenvolvimento Industrial da Comunidade Européia (IRDAC): *"Mecatrônica é a integração sinérgica da engenharia mecânica com eletrônica e controle inteligente por computador no projeto e manufatura de produtos e processos"*. Mecatrônica é então uma disciplina integradora que utiliza as tecnologias de mecânica, eletrônica e tecnologia da informação para fornecer produtos, sistemas e processos melhorados.

Um sistema mecatrônico realiza aquisição de sinais, processamento digital e, como saída, gera forças e movimentos. Os sistemas mecânicos são estendidos e integrados com sensores, microprocessadores e controladores. O sistema pode, assim, detectar variações paramétricas e ambientais e, após o processamento adequado desta informação, reagir a essas perturbações de modo a restaurar uma situação de equilíbrio. Pode, também, seguir comandos externos para realizar determinadas tarefas. Isto faz os sistemas mecatrônicos diferentes das máquinas e sistemas mecânicos convencionais. Exemplos de sistemas mecatrônicos são: máquinas robóticas para manufatura, manipulação e serviço; sistemas para automação de máquinas e processos; máquinas com controle digital; veículos autoguiados; máquinas ferramentas controladas por computador; máquinas robóticas para aplicações de diagnóstico e reabilitação em medicina; e dispositivos como: câmeras eletrônicas, impressoras, máquinas de faxímile, fotocopiadoras, vídeogravadores, etc.

O Cenário da Mecatrônica



1. Transmissão e Conversão do Movimento Mecânico

Introdução

Um motorista viajava à noite numa estrada e não viu uma luz vermelha que, de repente, apareceu no painel. Mais alguns quilômetros e o carro parou.

O motorista, que nada entendia de carro, percebeu que algo de grave acontecera, empurrou o carro para o acostamento, colocou o triângulo como sinal de aviso e saiu à procura de socorro, por sorte encontrou um mecânico que identificou o problema. A correia do alternador havia se partido. Como o motorista não tinha uma correia de reserva, foi necessário rebocar o carro. Esse problema pode dar idéia da importância da correia como elemento de transmissão de movimento. Neste caso a correia em questão transmite o movimento do motor de combustão para o alternador, que absorve parte da energia mecânica e a converte em elétrica para sustentar todos os dispositivos elétricos e eletrônicos do automóvel, além de carregar o acumulador (bateria), para repor a energia consumida durante a partida e nos períodos em que o motor ficou desligado.

Nesta seção serão estudados alguns elementos de máquina para transmissão e conversão do movimento mecânico, tais como eixos de transmissão (árvores), polias e correias, correntes, cabos, roscas, cames e acoplamentos. Estes elementos podem atuar de forma isolada ou associados entre si, atuando como elementos que, montados em um sistema, transferem potência e movimento à uma carga ou um outro sistema, a exemplo da figura 1.1.1, onde a polia condutora conectada ao motor transmite movimento à outra polia esta dita, conduzida.

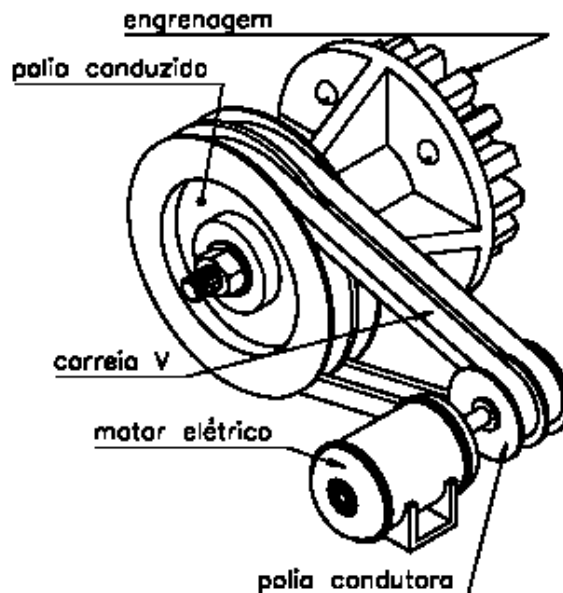


Figura 1.1.1, a polia condutora transmite potência e movimento para a polia conduzida.

1.2 Modos de Transmissão do Movimento

A transmissão de potência e movimento entre elementos mecânicos pode se dar basicamente de dois modos, pela forma e por atrito.

1.2.1 Transmissão pela forma:

É um modo de transmissão muito utilizado, é assim chamado porque a forma dos elementos transmissores é adequada para que esses elementos se encaixem mutuamente.

Nas figuras 1.2.1 a 1.2.4 são mostrados apenas alguns exemplos para o entendimento do conceito de transmissão de movimento pela forma dos elementos.

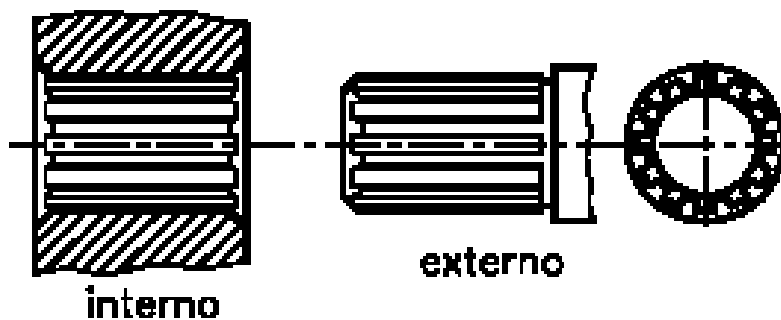


Figura 1.2.1- Eixo ranhurado



Figura 1.2.2- Eixo chavetado

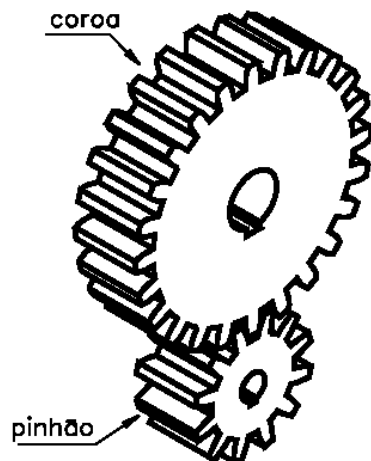


Figura 1.2.3- Engrenagem cilíndrica de dentes retos

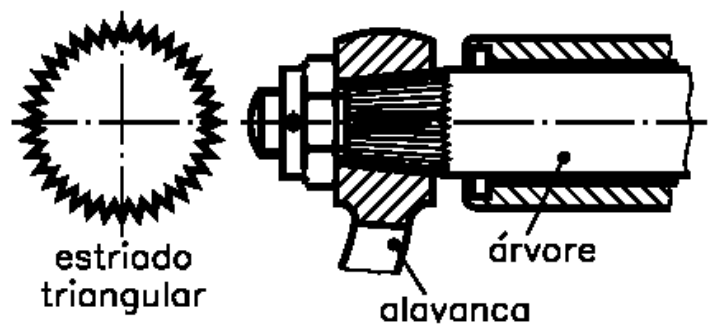


Figura 1.2.4- Eixo estriado

1.2.2 Transmissão por atrito:

Como a própria denominação sugere, a transmissão do movimento é feita por elementos que possuem na sua interface uma superfície adequada ao arraste da superfície adjacente. A transmissão por atrito é mais limitada, no que diz respeito a transmissão de grandes esforços, do que transmissão pela forma. As figuras a seguir mostram dois exemplos com um elemento anelar cônico e outro com arruelas estreladas

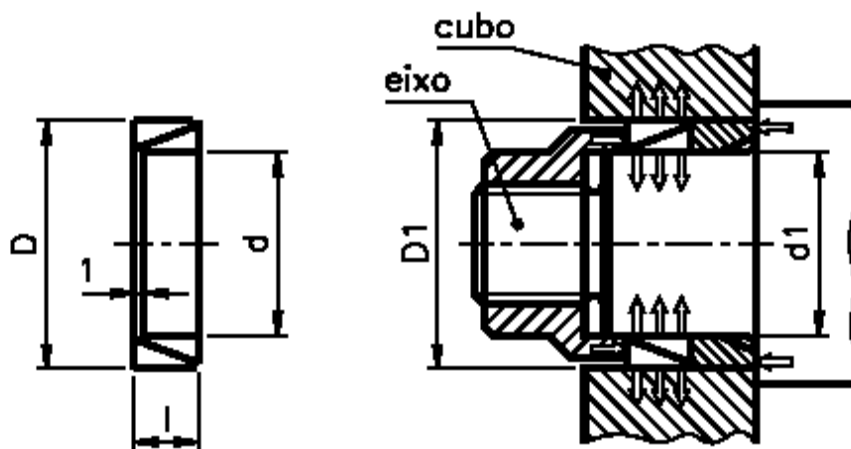


Figura 1.2.5-Transmissão por atrito com elemento anelar cônico

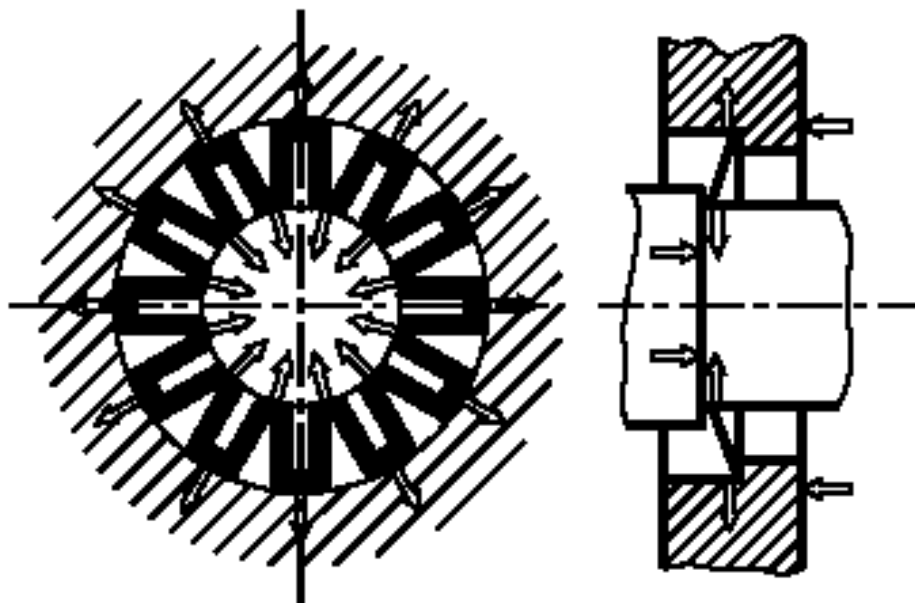


Figura 1.2.6- Transmissão por atrito com arruela estrelada

1.3 Elementos de Transmissão do Movimento

Neste seção serão apresentados alguns elementos de transmissão do movimento, vistos os modos com que o movimento mecânico pode ser transmitido.

1.3.1 Eixos-Arvores

Os eixos podem ser fixos, funcionando como elemento estrutural de suporte, mas encontram grande aplicação quando utilizados de forma móvel como elemento de transmissão do movimento e potência, quando recebem a denominação de eixo-árvore. Os eixos podem ser lisos, compostos, maciços, vazados, retos, cônicos, excêntricos, flexíveis, ranhurados, extriados, roscados, etc.

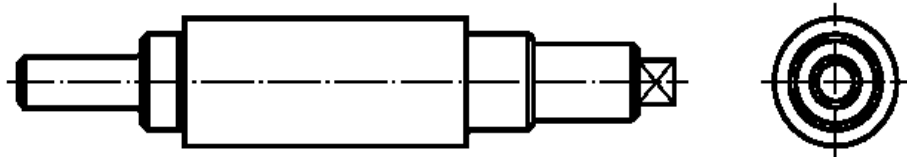


Figura 1.3.1- Eixo maciço de superfície composta ou escalonada

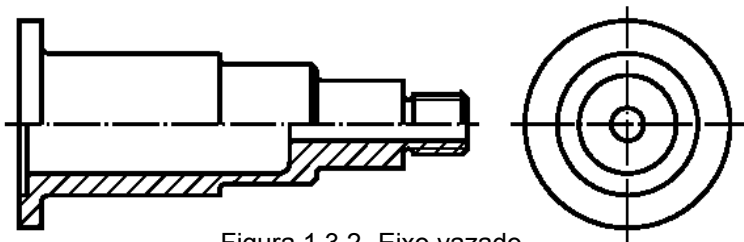


Figura 1.3.2- Eixo vazado



Figura 1.3.3- Eixo excêntrico tipo manivela

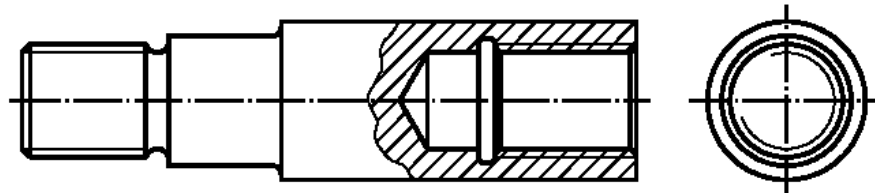


Figura 1.3.4- Eixo roscado



Figura 1.3.5- Eixo cônico



Figura 1.3.6- Eixo ranhurado

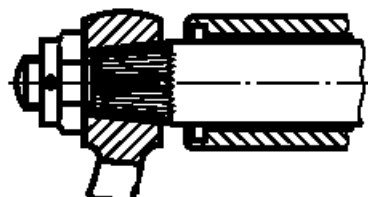
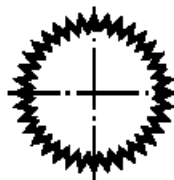


Figura 1.3.7- Eixo com estria triangular cônica

1.3.2 Polias e Correias

São elementos mecânicos que funcionam normalmente em conjunto para transmissão de movimento e potência ou conversão de velocidade. As figuras 1.3.8 e 1.3.9 mostram dois exemplos.

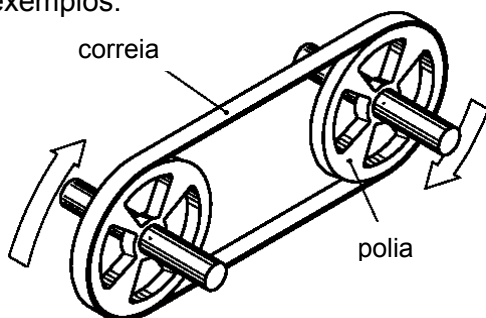


Figura 1.3.8- Conjunto polias iguais e correia

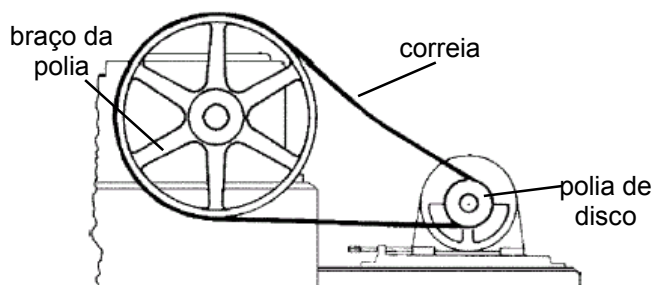


Figura 1.3.9- Conjunto de polias diferentes e correia.

Polias:

São peças cilíndricas constituídas de uma coroa ou face radial externa, que se conecta à parte central (o cubo) através de discos ou braços. Na figura 1.3.9, a polia menor é do tipo disco, ao passo que a polia maior se utiliza de braços para unir a coroa ao cubo.

As polias funcionam desenvolvendo um movimento de rotação em torno do eixo do cubo quando um torque é aplicado àquele eixo, ou pelo arraste da correia sobre sua superfície. A polia que recebe a potência da fonte motriz, e impõe movimento ao conjunto é denominada *polia condutora* e a que recebe é denominada *polia conduzida*.

O tipo de polias são determinados pela forma da superfície onde a correia se assenta, a coroa. Existem tipos de polias com variações no formato e na quantidade de coroas de acordo com a aplicação, tipo e quantidade de correias. As figuras de 1.3.10 a 1.3.13, mostram polias de aro plano, abaulado e com escalonamento, indicadas para correias do tipo plana, vistas a diante.

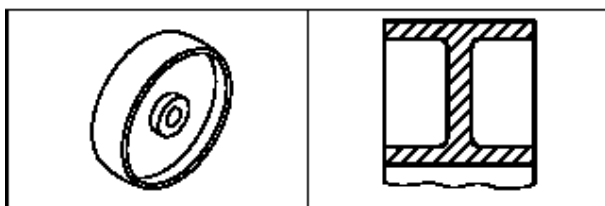


Figura 1.3.10- Polia de aro plano

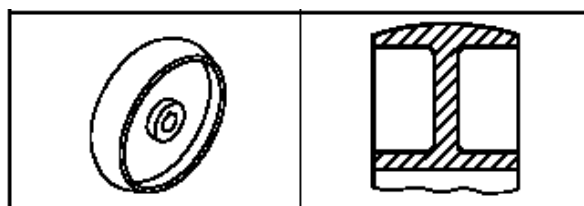


Figura 1.3.11- Polia de aro abaulado

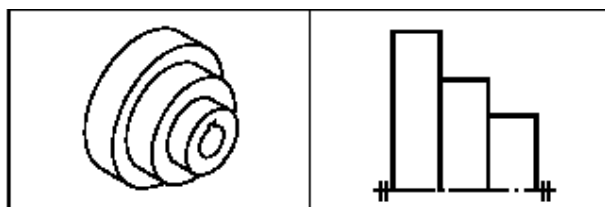


Figura 1.3.12- Polia escalonada de aro plano

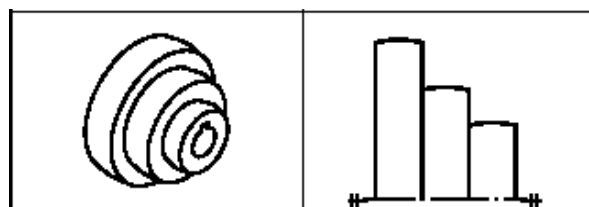


Figura 1.3.13- Polia escalonada de aro abaulado

Também é comum o uso de polias planas ou abauladas com guias laterais para facilitar o posicionamento das correias, conforme mostra a figura 1.3.14.

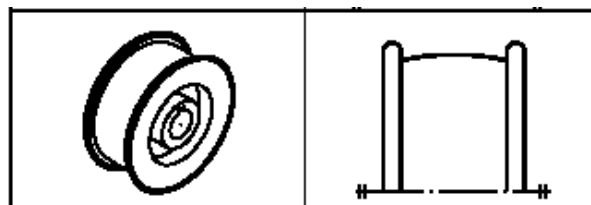


Figura 1.3.14- Polia com guia lateral

As polias do tipo trapezoidal, também apelidadas em “V”, recebem esse nome porque a superfície na qual a correia se assenta apresenta um canal na forma de trapézio. Os canais das polias trapezoidais são dimensionados de acordo com o perfil padrão da correia a ser utilizada. Nas figuras 1.3.15 e 16 são mostradas respectivamente polias com canal trapezoidal simples e múltipla.



Figura 1.3.15- Polia com canal trapezoidal ou em “V”, simples.

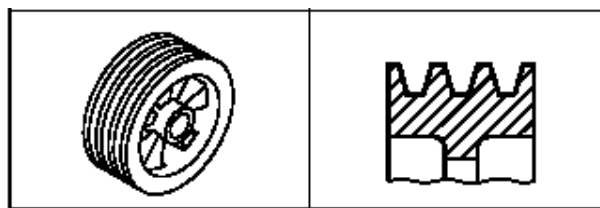


Figura 1.3.16- Polia com canal trapezoidal ou em “V”, múltipla.

Além das polias para correias planas e trapezoidais, existem as polias para cabos de aço, para correntes, polias (ou rodas) de atrito, polias para correias redondas e para correias dentadas. Algumas vezes, as palavras roda e polia são utilizadas como sinônimos.

Na figura 1.3.17 é mostrada uma polia com canal semi-circular para acomodar cabos ou correias circulares. Na figura 1.3.18 é mostrada uma vista frontal de uma polia com canais axiais (paralelos ao eixo de rotação) utilizada para encaixe de corias do tipo dentada.

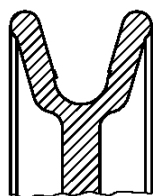


Figura 1.3.17- Vista em de uma polia com canal semi-circular

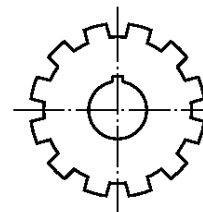


Figura 1.3.18- Polia com canais axiais

Correias:

São elementos que assumem a forma variada de uma linha geométrica fechada. As correias se deslocam arrastando consigo a superfície dos elementos de apoio circulares, normalmente polias, acompanhando a geometria definida por esse conjunto de apoios. As correias mais usadas são planas, trapezoidais, quadradas para aplicações muito leves. A correia em “V” ou trapezoidal é inteiriça, fabricada com seção transversal em forma de trapézio. É constituída de borracha revestida de lona que recebe um reforço por meio de cordonéis que são vulcanizados em seu interior para suportar os esforços de tração, conforme ilustrado na figura 1.3.19.

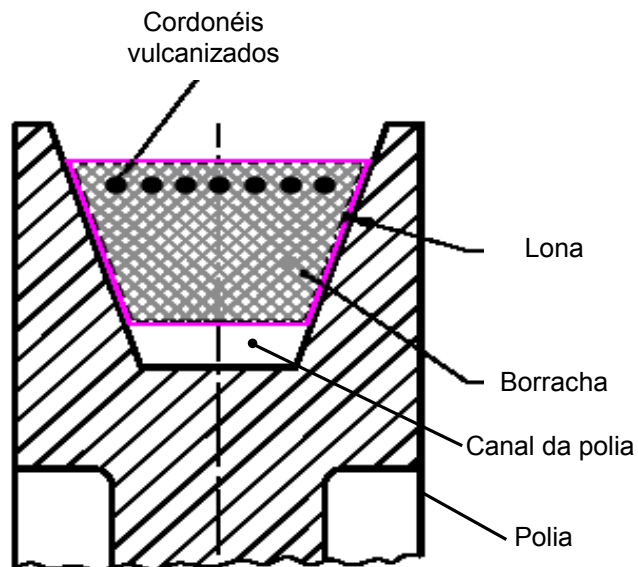




Figura 1.3.19- Vista em corte da seção transversal de uma correia trapezoidal

Figura 1.3.19- Vista em corte de uma correia assentada no canal

Vantagens das correias em “V” ou trapezoidais:

- Praticamente não apresenta deslizamento;
- Permite o uso de canais bem próximos;
- Elimina os ruídos e os choques, típicos das correias emendadas (planas).

Existem vários perfis padronizados de correias trapezoidais, vistos alguns exemplos na figura 1.3.20.

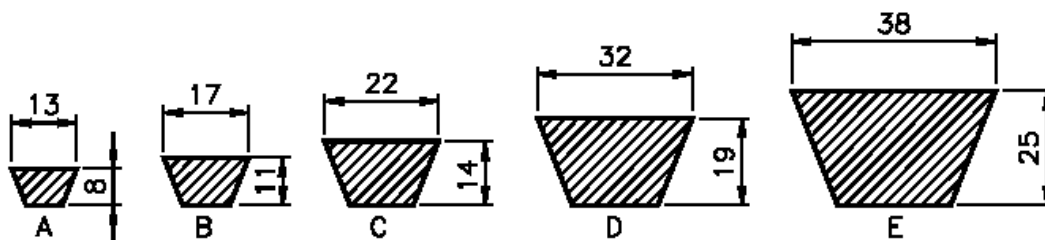


Figura 1.3.20- Alguns tipos padronizados de correia trapezoidal

Correias Dentadas

A correia do tipo dentada tem constituição semelhante à trapezoidal, porém é dotada internamente de um filamento de aço para minimizar a distensão, possuindo também ressaltos ou “dentes”, uniformemente espaçados. Quando utilizada em conjunto com polias apropriadas, de canais axiais ou polia dentada, apresenta um movimento mecanicamente solidário, o que significa a ausência de escorregamento entre a polia e a correia, o que é uma exigência em sistemas em que a posição relativa é um fator crítico, como por exemplo: a posição do eixo de manivelas em relação ao eixo do comando de válvulas de um motor; a posição da cabeça de impressão em uma impressora; a posição de um braço robótico, etc.

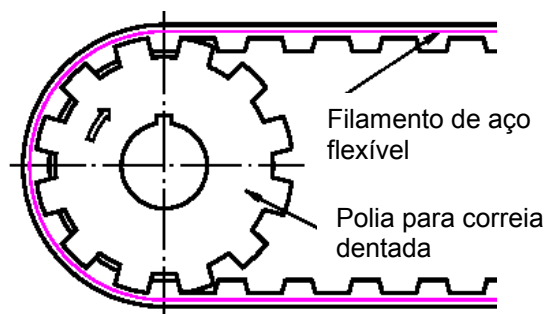
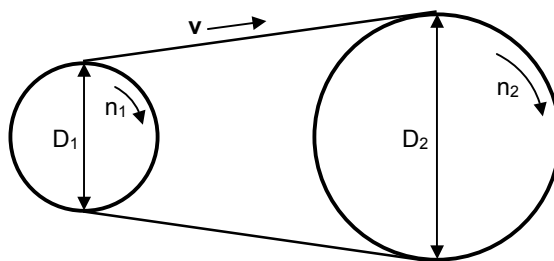


Figura 1.3.21- Polia de Canais axiais “dentada” e correia dentada

Relação de transmissão

Para esta análise tomemos o diagrama mostrado na figura 1.3.22



Partindo-se do princípio que a velocidade tangencial é a mesma em todos os pontos da correia, inclusive nas superfícies das polias tocadas por ela, temos que:

$$v = \pi D_1 n_1 = \pi D_2 n_2$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1} = i, \text{ onde:}$$

v = velocidade tangencial; D_1 = diâmetro da polia menor; D_2 = diâmetro da polia maior;
 n = é o número de rotações por unidade de tempo (RPS no S.I.); i é a relação de transmissão

Ex.: A polia de um motor (condutora) possui um diâmetro de 15 cm. Qual deve ser o diâmetro da polia da carga (conduzida) para que a velocidade angular na carga seja de 1/4 do motor

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{n_2}{n_1} \therefore \frac{15}{D_2} = \frac{1}{4} \therefore D_2 = 4.15 = 60\text{cm}$$

1.3.3 Correntes

As correntes são elementos que funcionam de forma análoga às correias dentadas, entretanto são constituídas do arranjo de elos rígidos interligados por meio de articulações, transmitindo movimento e potência à uma roda dentada, ou engrenagem, conforme ilustram as figuras 1.3.23 e 24. As correntes são normalmente utilizadas onde se requer grandes esforços sem grandes velocidades.

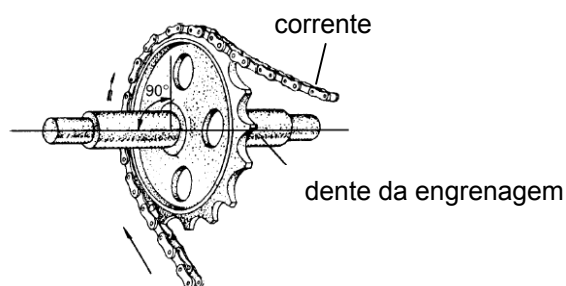


Figura 1.3.23- Ilustração de um conjunto corrente e roda dentada

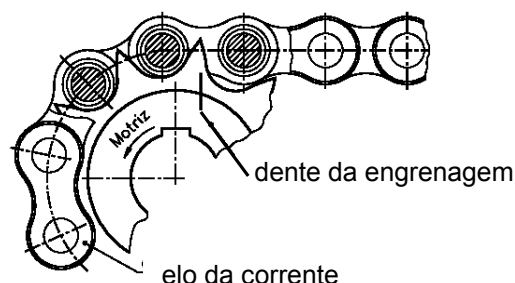


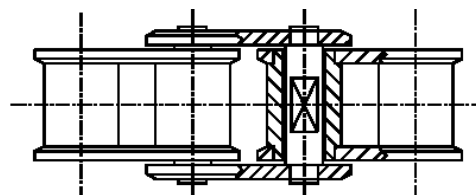
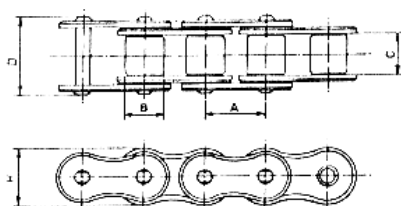
Figura 1.3.24- Vista do conjunto com corte parcial

Os tipos de corrente mais comuns são as correntes de rolo e de bucha

Correntes de rolo: São fabricadas em aço temperado e constituídas de talas externa e interna, bucha e pinos, e rolos. Os rolos são montados sobre as buchas e recebem o contato dos dentes da engrenagem.

Correntes de bucha: Não possuem rolos e por isso os pinos e as próprias buchas são mais robustos, suportando maiores esforços, porém apresentam também maior desgaste e ruído, já que os dentes exercem esforços diretamente sobre as buchas.

A figura 1.3.25 mostra um trecho de uma corrente de rolo e a 1.3.26 de bucha



1.3.4 Roscas de Transmissão

Figura 1.3.26- Trecho de uma corrente de bucha

Os sistemas de transmissão de movimento por rosca encontram aplicações em diversos segmentos. Sua constituição básica é apresentada na figura 1.3.27, sendo composta de um parafuso ou fuso (eixo com rosca externa) e uma porca. Em funcionamento normal, o fuso que é a fonte motriz gira fazendo a porca se deslocar axialmente. Isto ocorre porque a porca é normalmente fixada ao elemento que se deseja mover e este impede que a porca gire.

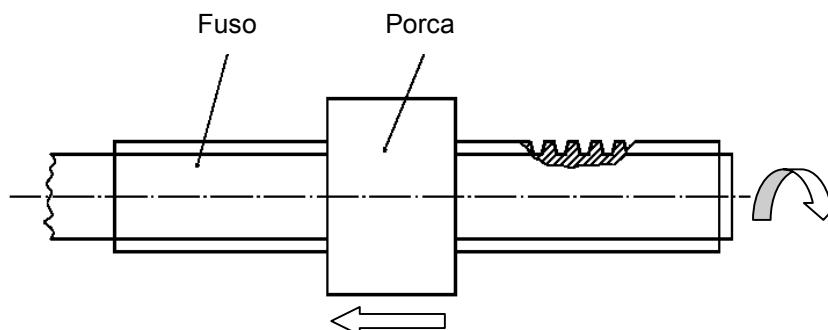
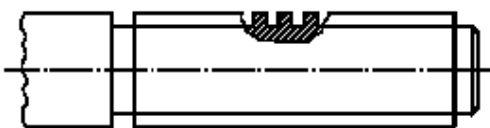
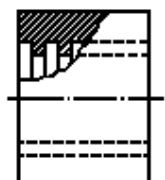
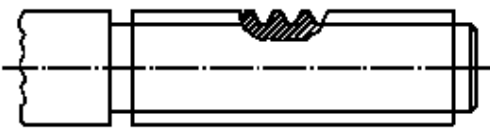

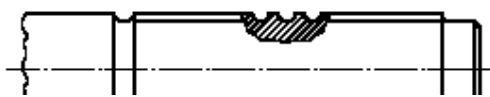



Figura 1.3.27- Sistema de rosca de transmissão

As roscas de transmissão podem apresentar diferentes perfis, conforme figura 1.3.28

Tipo de Perfil	Perfil do Fuso	Perfil da Porca
QUADRADO		
TRAPEZOIDAL		
MISTO		

Rosca com perfil quadrado

Esse tipo de perfil é utilizado na construção de roscas múltiplas. As roscas múltiplas possuem duas ou mais entradas, que possibilitam maior avanço axial a cada volta completa do fuso. As figuras 1.3.29, 30 e 31 mostram respectivamente roscas de 1, 3 e 4 entradas.



Figura 1.3.29- Rosca de 1 entrada



Figura 1.3.30- Rosca de 3 entradas

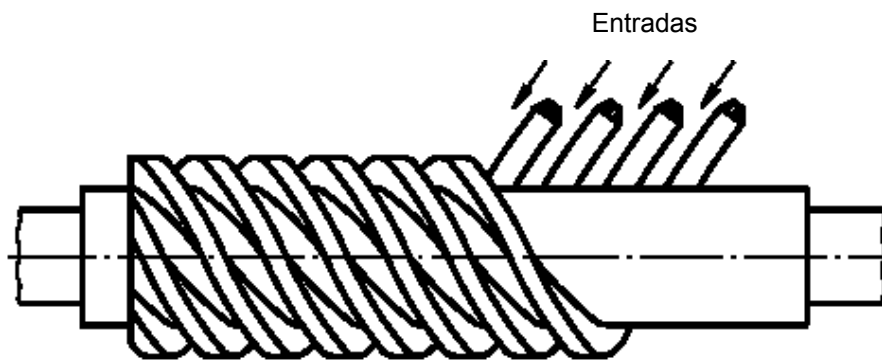
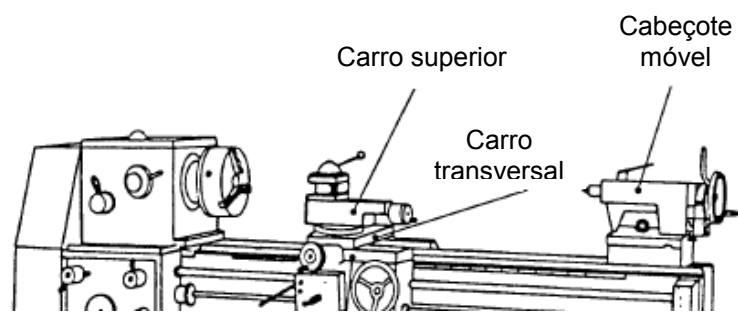


Figura 1.3.31- Rosca de 4 entradas

Rosca com perfil trapezoidal

Resiste a grandes esforços e é empregada na construção de fusos e porcas, os quais transmitem movimento a alguns componentes de máquinas-ferramenta como torno mecânico, plaina, fresadora, etc. Na figura 1.3.32 vemos partes de um torno mecânico que empregam roscas de transmissão do tipo trapezoidal.



Rosca com perfil misto

Figura 1.3.32- Torno mecânico

Esta rosca é muito utilizada na construção de conjuntos fuso e porca com esferas recirculantes. Os fusos de esferas são elementos de transmissão de alta eficiência, transformando movimento de rotação o em movimento linear e vice-versa, por meio de transmissão por esferas, conforme figuras 1.3.33 e 34.



Figura 1.3.33- Ilustração do sistema de esferas recirculantes

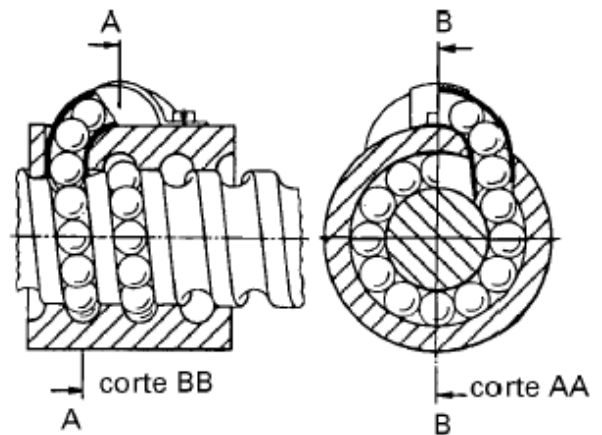
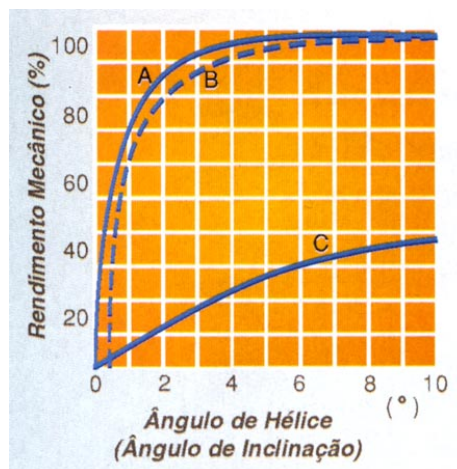


Figura 1.3.34- Vista em corte do sistema de esferas recirculantes

O sistema de esferas apresenta um custo mais elevado, mas possui uma alta eficiência mecânica e menores folgas. O gráfico da figura 1.3.35 mostra a relação entre o ângulo de hélice e o rendimento mecânico. As curvas A e B representam dois tipos de fusos de esferas e a curva C uma rosca de perfil trapezoidal.



1.3.5 Engrenagens

As engrenagens desempenham papel fundamental em vários sistemas mecânicos de transmissão de movimento, potência e conversão de velocidade, torque, direção e sentido e podem ser feitas de vários materiais desde os metálicos, mais tradicionais, até poliméricos (plásticos) e, mais modernamente, de materiais compósitos.

As engrenagens, genericamente falando, são elementos quase sempre circulares dotados externamente de um relevo externo peculiar (conhecido como "dentes"), com dimensões padronizadas. A figura 1.3.36 mostra as partes constituintes de uma engrenagem genérica.

Para funcionar e produzir o movimento as engrenagens, ou rodas dentadas, precisam estar "engrenadas", ou seja, os dentes de uma devem se encaixar nos vãos da outra e vice-versa, conforme mostra a figura 1.3.37. Quando duas engrenagens de tamanhos diferentes trabalham associadas em um mesmo conjunto recebem o nome de coroa (para a engrenagem maior) e pinhão (para a engrenagem menor), ilustrado na figura 1.3.38.

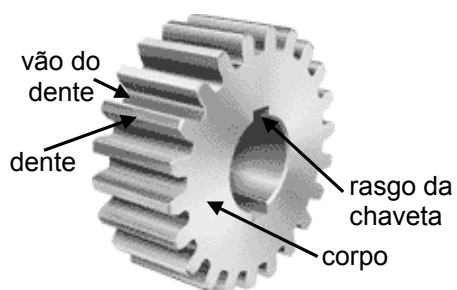


Figura 1.3.36- Partes de uma engrenagem

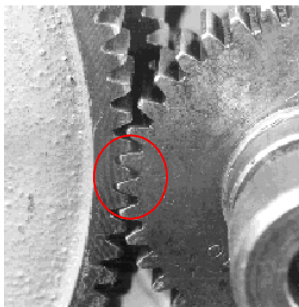


Figura 1.3.37- Duas engrenagens "engrenadas"



Figura 1.3.38- Conjunto coroa e pinhão

As engrenagens se apresentam em variadas formas dependendo requisitos da aplicação e da função desempenhada.

Engrenagens cilíndricas

Recebem esta denominação por possuírem o corpo na forma cilíndrica, havendo também três sub-variações em função do arranjo geométrico dos dentes: retos, helicoidais planos, helicoidais côncavos

A **engrenagem cilíndrica de dentes retos** é a mais comum, possui corpo cilíndrico e os dentes paralelos entre si e ao eixo de rotação, exemplificadas nas figuras 1.3.36, 37 e 38. É utilizada para transmitir movimento entre eixos paralelos.

A **engrenagem cilíndrica de dentes helicoidais** é assim denominada, porque apresenta os dentes paralelos entre si, porém inclinados em relação ao eixo de rotação, conforme mostra a figura 1.3.39. Pode ser utilizada em eixos paralelos ou reversos (não paralelos), como mostram as respectivas figuras 1.3.40 e 41.

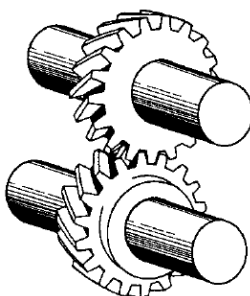


Figura 1.3.36

Engrenagem cilíndrica

de dentes retos

Figura 1.3.37

engrenagens helicoidais

As engrenagens tem seu corpo na forma de um tronco de cone, como o próprio nome sugere. São empregadas principalmente para transmitir movimento entre eixos de diferentes direções, principalmente ortogonais, podendo possuir os dentes retos ou helicoidais como mostram as figuras de 1.3.42 a 1.3.44.

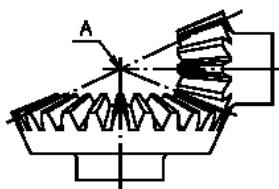
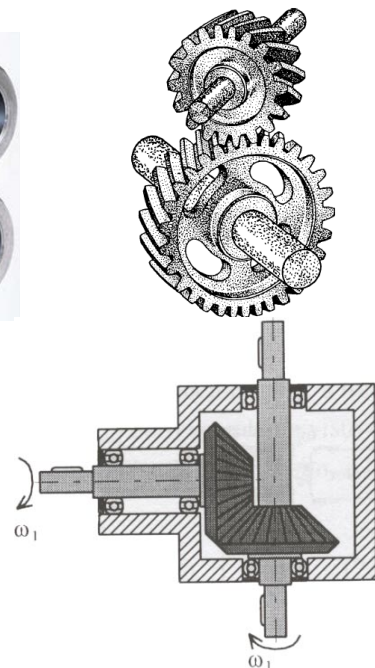


Figura 1.3.42
engrenagens cônica de
dentes retos

Figura 1.3.43 conjunto de engrenagens cônicas
de dentes retos



Figura 1.3.44
conjunto de engrenagens
cônicas de dentes helicoidais

Sem-Fim e Coroa

É na verdade, uma associação um eixo roscado externamente, denominado de parafuso de rosca sem-fim, ou somente sem-fim, figura 1.3.45, e uma engrenagem cilíndrica de dentes helicoidais denominada coroa, como mostra a figura 1.3.46. Este sistema, mostrado na figura 1.3.47, permite grandes reduções de velocidade e conseqüente aumento de torque, em faixas desde 20:1, até 300:1 ou mais. Neste tipo de sistema o sem-fim sempre é o elemento condutor do movimento. A coroa para utilização em conjunto com eixo de rosca sem-fim pode ser do tipo comum com o topo dos dentes retos, entretanto, o mais adequado é que elas tenham o topo côncavo, ou seja as laterais mais altas que o centro para melhor encaixe com o sem-fim.



Figura 1.3.45
eixo com rosca "sem-fim"

Figura 1.3.46
Coroa, (engrenagem cilíndrica de
dentes helicoidais)

Figura 1.3.47
Conjunto sem-fim e coroa

Engrenagens Segmentadas

São constituídas de trechos de algum tipo de engrenagem, feitas para aplicações específicas onde o curso do movimento é normalmente limitado, ilustrada em 1.3.48.



Figura 1.3.48- Engrenagens segmentadas

Cremalheira

É um tipo de engrenagem segmentada, muito comum. Funciona por meio da associação de uma engrenagem menor, denominada pinhão, sendo a cremalheira um segmento de uma engrenagem de raio infinito. Este mecanismo é normalmente utilizado para converter movimento de rotação em translação e vice-versa mostrado nas figuras 1.3.49 a 1.3.51.

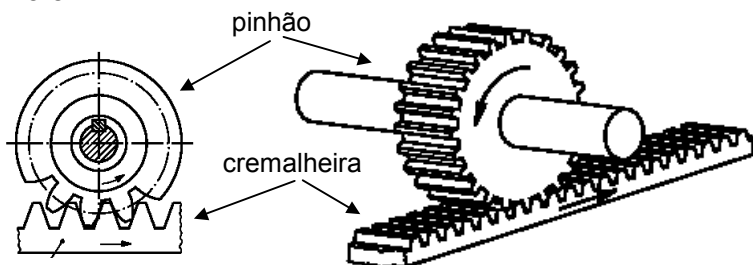


Figura 1.3.49- Vista do
conjunto pinhão cremalheira

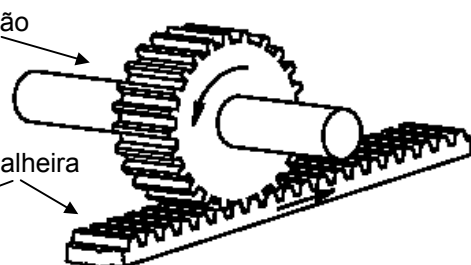


Figura 1.3.50- Ilustração do
conjunto pinhão cremalheira

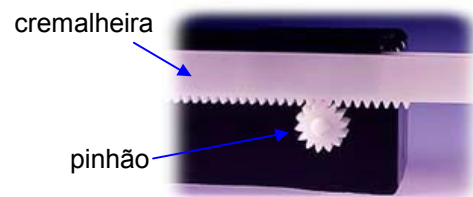


Figura 1.3.51- conjunto pinhão e
cremalheira em material plástico

Relação de transmissão nas engrenagens:

Aplicações mecânicas utilizam com frequência elementos de transmissão do movimento como conversores de um tipo de movimento para outro, ou como redutores de velocidade. Os redutores de velocidade podem ser empregados quando a velocidade requerida pela carga é menor do que a da fonte motriz, e/ou quando o torque nominal na fonte é menor do que o requerido pela carga.

Nos vários redutores, a relação de transmissão i pode ser definida pela razão de diferentes pares de fatores, por exemplo velocidades de entrada, ω_1 , pela saída, ω_2 .

$\frac{\omega_1}{\omega_2} = i$, supondo a ausência de perdas, ou seja, a potência na entrada igual a da saída, temos:

$$\omega_1 T_1 = \omega_2 T_2 = P, \text{ ou seja, } \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{T_2}{T_1}, \text{ logo } i = \frac{T_2}{T_1}.$$

Tem-se também que: $\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{Z_2}{Z_1}$, logo $i = \frac{Z_2}{Z_1}$

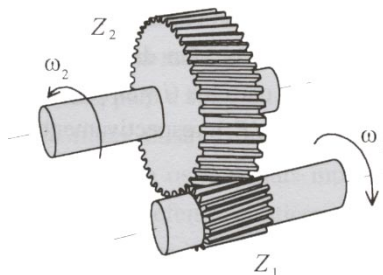


Figura I - Conjunto redutor

Pode-se concluir que a relação direta de velocidades i , vista acima, também pode ser expressa como a razão inversa dos torques T , ou como a razão inversa do número de dentes Z , de forma análoga à razão inversa dos raios, no caso das polias. O rendimento do arranjo visto na figura I situa-se tipicamente acima de 90%.

A relação básica estabelecida no sistema coroa sem-fim, figura II, advém do fato de que são necessárias Z rotações do sem fim para uma rotação da coroa, onde Z é o número de dentes da coroa, ou seja, a expressão de i é dada por:

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = Z, \text{ lembrando que } \omega_1 \text{ é a fonte motriz, e a reversão}$$

normalmente não é possível neste sistema. Há também um atrito considerável, o que dá a este sistema um rendimento entre 50 e 80%.

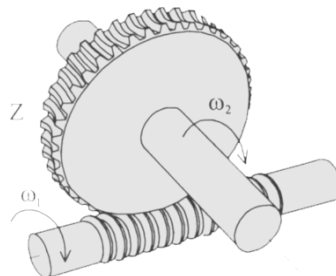


Figura II - Conjunto coroa sem-fim

No caso de conversão de movimento angular para linear, como o da figura III, surgem relações análogas. A velocidade linear v toma lugar da velocidade angular ω_2 do sistema mostrado na figura I,

$$i = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi}{p}; \quad v = p \cdot n \quad \text{ou} \quad v = \frac{\omega p}{2\pi}, \text{ visto que}$$

$$n = f = \frac{\omega}{2\pi}$$

$n \Rightarrow$ RPS, revoluções por segundo.

$\omega \Rightarrow$ radianos por segundo

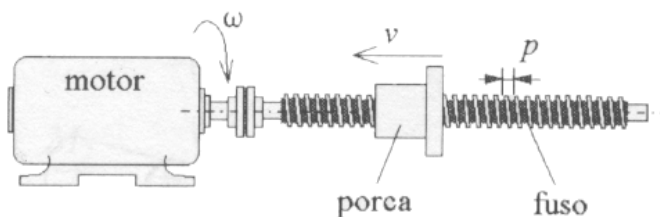


Figura III - Conjunto de rosca de transmissão

Outros tipos de conversão de movimento angular para linear, também fazem surgir relações análogas com base nas figuras IV e V. A velocidade linear v toma lugar da velocidade

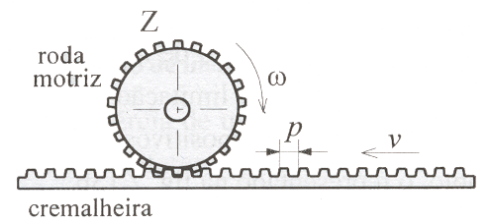
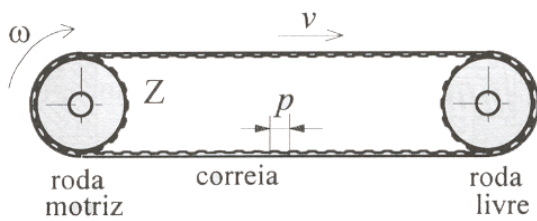
angular ω_2 do sistema da figura I e da mesma forma o torque T_2 é substituído por seu análogo, a força F .

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{T_2}{T_1} . \text{ Substituindo-se origina } i = \frac{\omega}{v} = \frac{F}{T} ,$$

lembrando que: $v = \omega.r = 2\pi.r.n$, e $T=F.r.\text{sen } \theta$

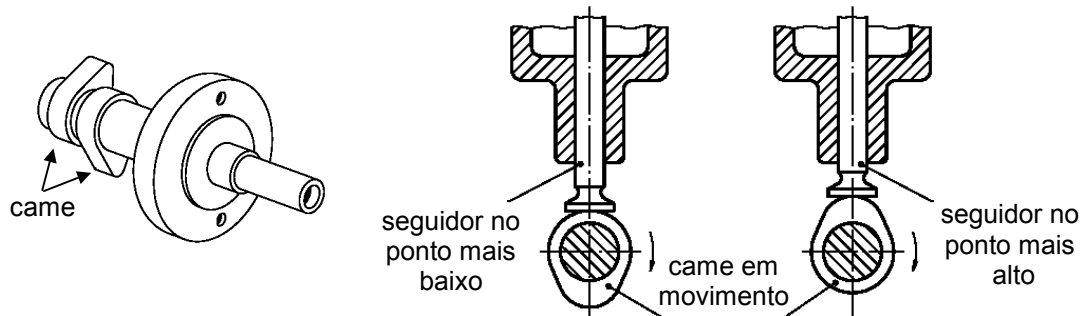
A velocidade também pode ser expressa, utilizando-se o número de dentes Z

$$v = Z.p.n = \frac{\omega.Z.p}{2\pi}$$



1.3.6 Cames

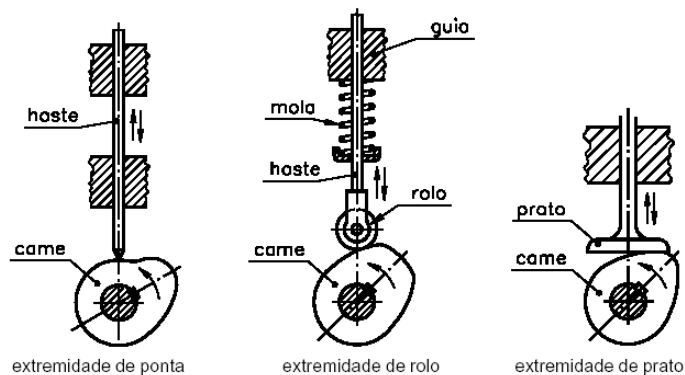
São elementos dotados de uma superfície de geometria especial para transmissão do movimento. Essas superfícies são normalmente excêntricas e transmitem o movimento à outro elemento denominado seguidor. O seguidor da figura abaixo funciona subindo e descendo alternadamente enquanto o came descreve um movimento de rotação



Os cames classificam-se em **cames de disco**, **de tambor**, **de quadro** e **frontal**.

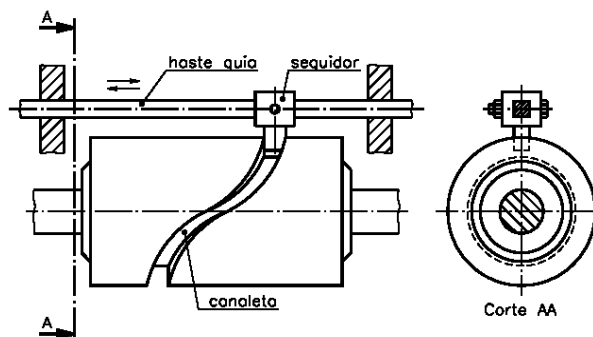
Cames de disco

É do tipo rotativo e excêntrico. Consta de um disco, devidamente perfilado, que gira com velocidade constante, fixado a um eixo. O eixo comanda o movimento alternativo axial periódico da haste do seguidor. A extremidade da haste do came de disco pode ser: de ponta, de rolo e de prato.



Cames de tambor

Os cames de tambor tem, geralmente, formato de cilindro ou cone sobre o qual é feita uma ranhura ou canaleta. Durante a rotação do cilindro em movimento, ocorre deslocamento do seguidor sobre a ranhura. O seguidor é perpendicular à linha de centro do tambor e desliza sobre uma haste guia.

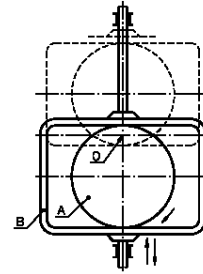


Cames de quadro

Os cames de quadro possuem duas configurações típicas, as de quadro com came circular e triangular.

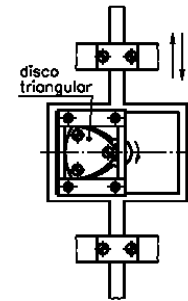
Quadro com came circular :

É constituído de um quadro que encerra um came na forma de um disco circular. O disco (A), ao girar pelo eixo (O) faz com que o quadro (B) se desloque com movimentos alternados verticalmente.



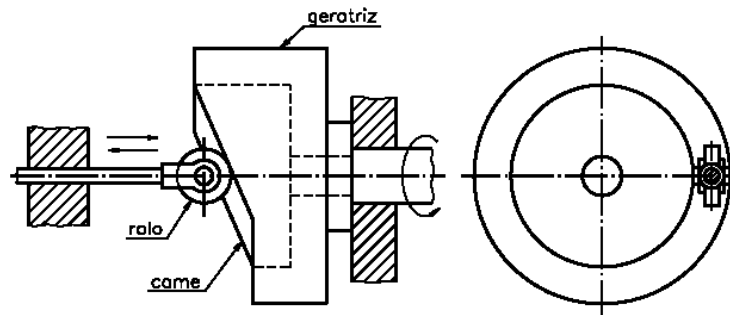
Quadro com came triangular:

É constituído de um quadro retangular que encerra um disco triangular. Os lados desse disco são arcos de circunferência. O disco triangular, ao girar, conduz o quadro num movimento alternado verticalmente.

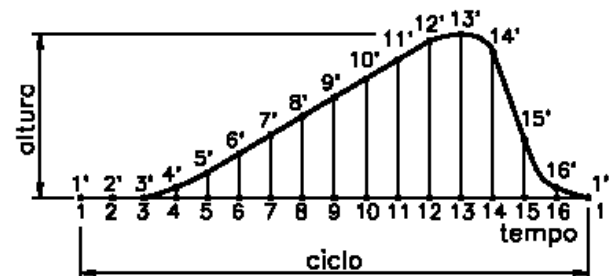
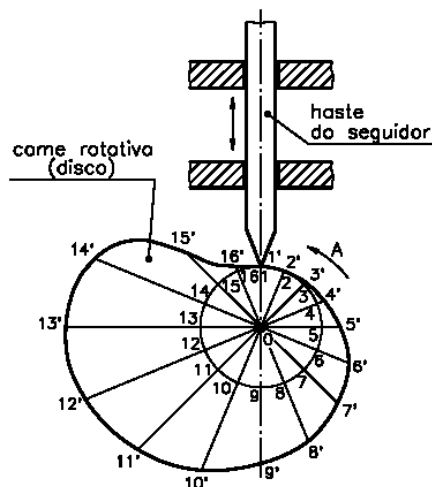


Came Frontal

Tem a forma de um cilindro seccionado, sendo que as geratrizes tem comprimentos variados. Durante a rotação do cilindro, ocorre o movimento alternativo axial o seguidor, paralelo à geratriz do tambor.



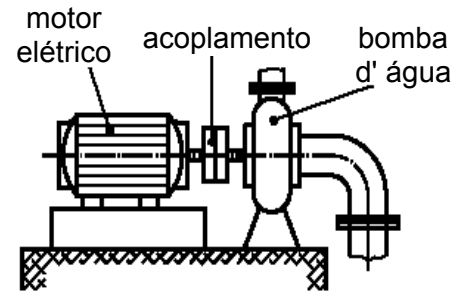
Representação Gráfica do movimento de um came de disco



Acoplamentos

Acoplamentos

São elementos mecânicos de transmissão do movimento de rotação, com relação de transmissão normalmente unitária ($\omega_E = \omega_S$). São empregados, como o próprio nome diz, para acoplar dois eixos, facilitando a montagem e, dependendo do tipo, também podem compensar desalinhamentos e atenuar a transmissão de choques ou vibrações entre a fonte motriz e a carga. Podem ser classificados em **fixos**, **elásticos** e **móveis**.



Acoplamentos fixos

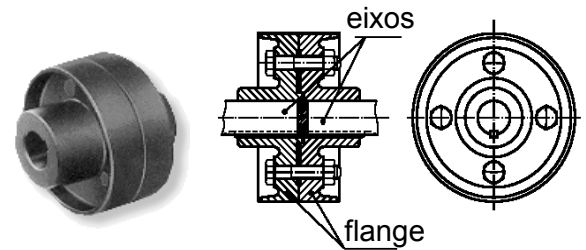
Os acoplamentos fixos servem para unir eixos de tal maneira que funcionem como se fossem uma única peça, alinhando os eixos de forma precisa. São indicados para extensão de eixos e equipamentos que requeiram rigidez torcional e perfeito alinhamento e sincronismo.

- Não possuem qualquer flexibilidade.
- São torcionalmente rígidos.
- Não absorvem choques e vibrações.
- Não admitem desalinhamento radial, axial e angular

Dentre os acoplamentos fixos podemos destacar os de flange aparafusados e os de luva de compressão.

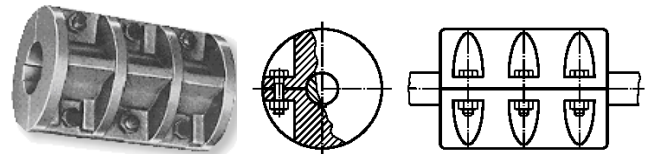
Acoplamento fixo com flanges parafusadas

Esse tipo de acoplamento é utilizado quando se pretende conectar eixos, e é próprio para a transmissão de grande potência em baixa velocidade.



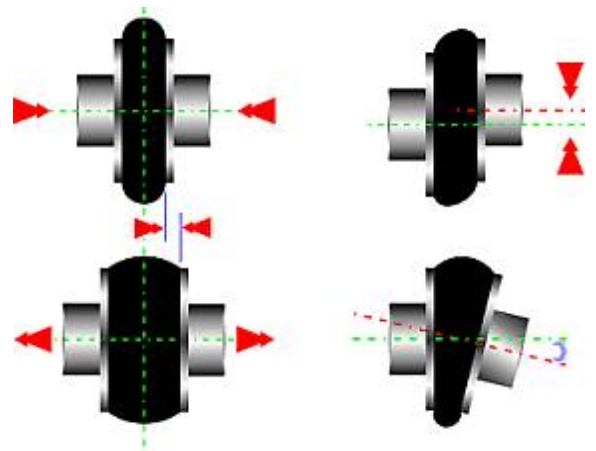
Acoplamento fixo com luva de compressão

Esse tipo de luva facilita a manutenção de máquinas e equipamentos, com a vantagem de não interferir no posicionamento dos eixos, podendo ser montado e removido mais facilmente.



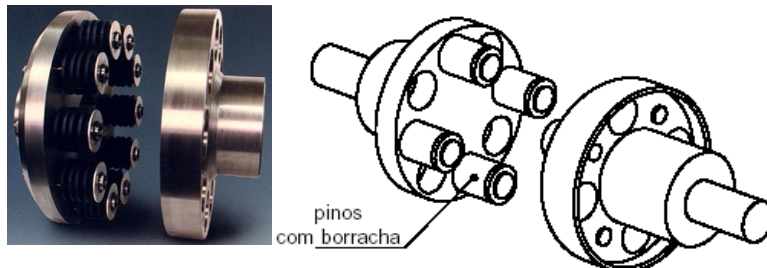
Acoplamentos elásticos

Esses elementos tornam mais suave a transmissão do movimento em eixos que tenham movimentos bruscos, absorvem choques e vibrações protegendo as máquinas acopladas. Não requerem lubrificação. Os tipos mais comuns de acoplamento elástico são os de pino, garra, junta e disco elásticos.



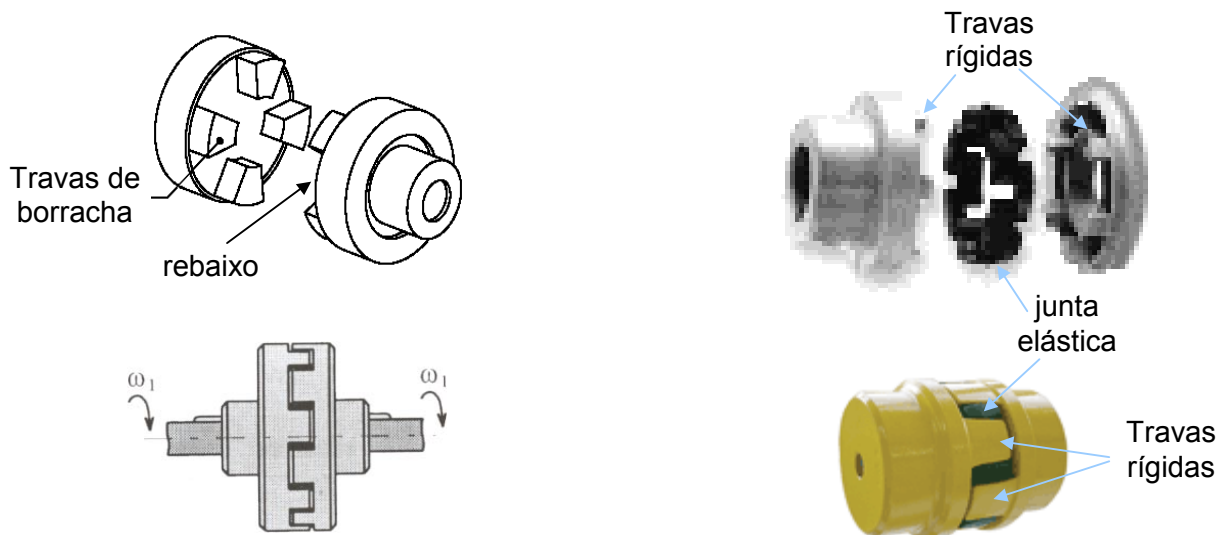
Acoplamento de Pinos elásticos

A transmissão do movimento se dá por meio de pinos de aço recobertos de borracha que se encaixam nos furos existentes na outra parte do componente.



Acoplamento de Garras elásticas

As garras são constituídas de travas de borracha que se encaixam nos rebaixos da outra peça, feita de material rígido. Também é comum uma configuração semelhante a esta, porém com ambos os lados dotados de travas rígidas que se encaixam apoiadas em uma junta elástica de borracha.



Acoplamentos super elásticos

Recebem diversas denominações de acordo com o tipo de fabricante, Perflex, Speflex, etc, mostrado na figura abaixo. Os discos de acoplamento são unidos perifericamente por uma ligação de borracha apertada por anéis de pressão. O elemento elástico em borracha sintética vulcanizada de alta flexibilidade permite compensar desalinhamentos radial, axial e angular, bem como absorver um bom grau de choques. Admite desalinhamentos superiores aos acoplamentos convencionais. Permite troca do elemento elástico sem afastar axialmente uma das máquinas.

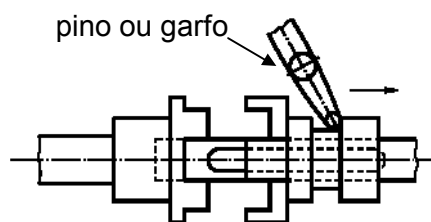


Acoplamentos móveis

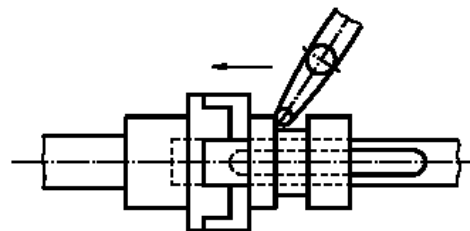
Estes elementos de transmissão do movimento mecânico se utilizam de mecanismos de articulação para conferir determinados graus de liberdade com função específica. Nesta família destacamos os acoplamentos móveis **comandáveis** e os **não comandáveis**.

Acoplamentos móveis comandáveis

Estes elementos permitem que a transmissão de movimento e potência aconteça de forma controlada, podendo ser ligada ou desligada. Neste sistema, um dos discos com garras tem liberdade no sentido axial, controlado por um pino ou garfo que afasta ou aproxima os discos do ponto de engate.



Acoplamento desengatado



Acoplamento engatado

Acoplamentos móveis não comandáveis

Estes elementos mantêm o sincronismo entre os eixos acoplados e proporcionam alguns graus de liberdade, de acordo com o tipo de dispositivo. Estes dispositivos, porém, são torcionamente rígidos, e não absorvem choques ou vibrações. Dois exemplos destes tipos de dispositivos são os acoplamentos homocinéticos e os acoplamentos com elementos cilíndricos articulados em cruz, (cruzetas)

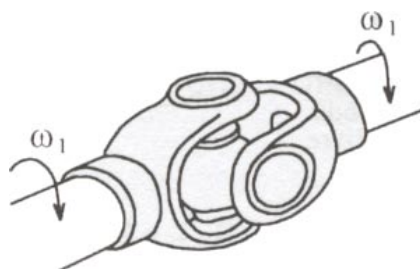
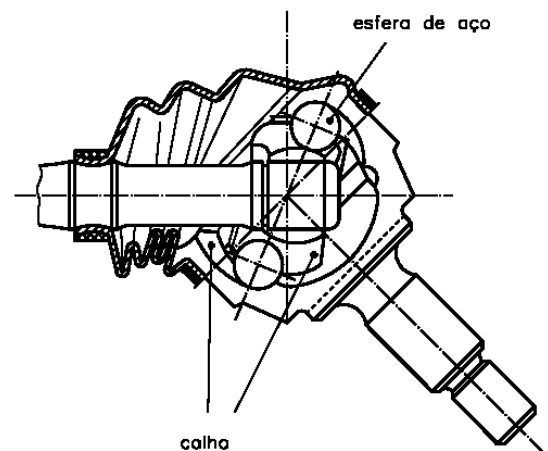


Ilustração de uma Cruzeta

