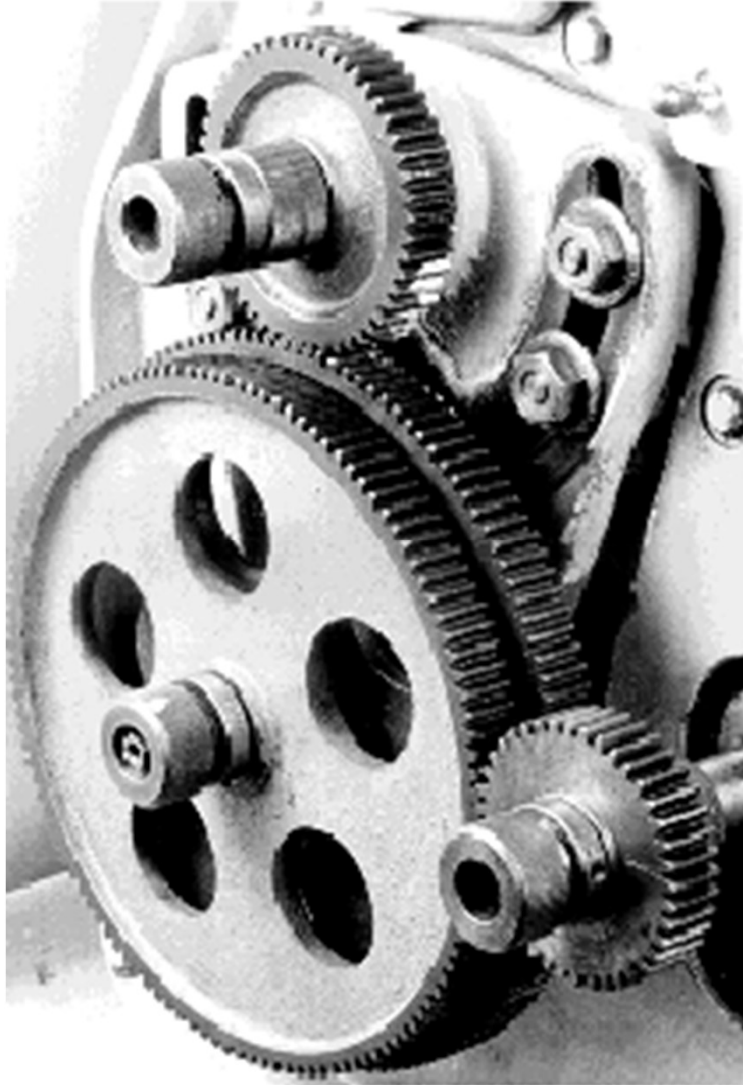
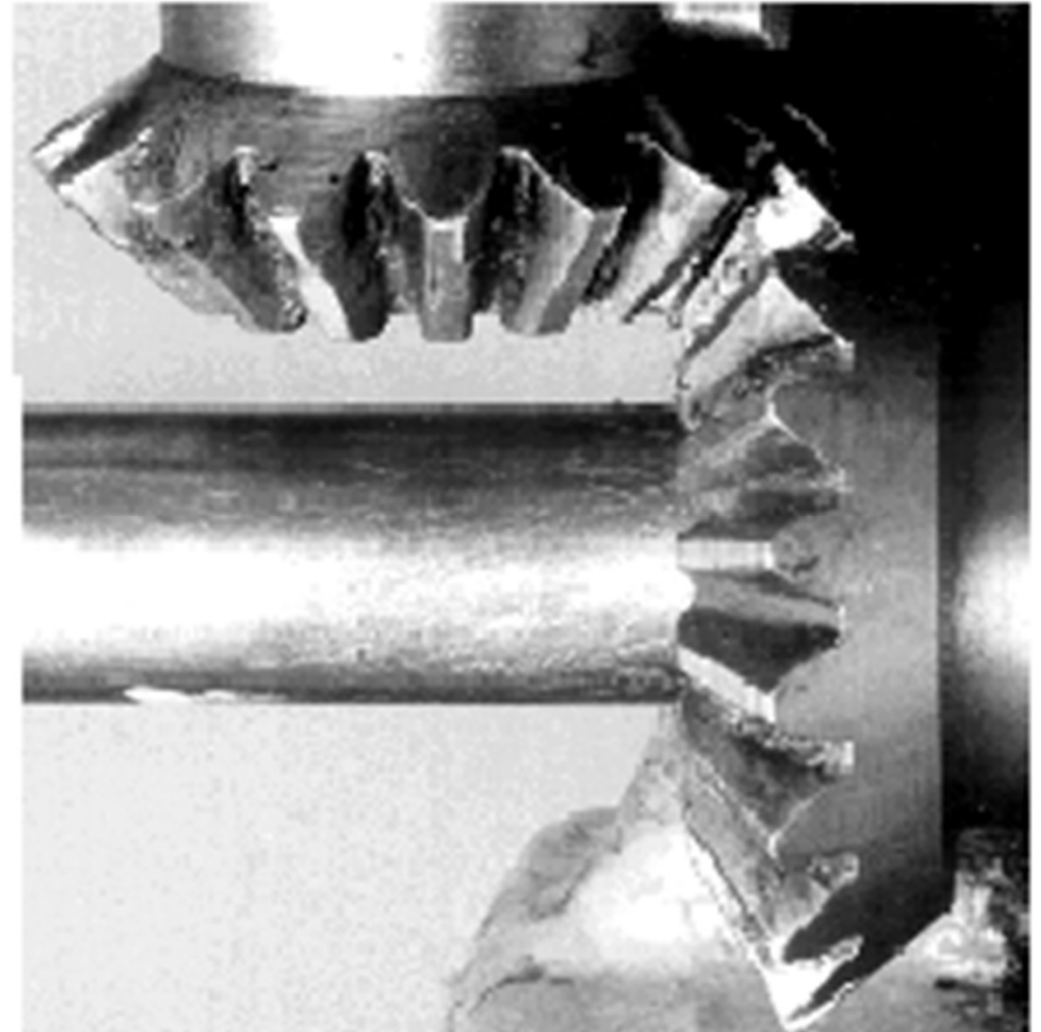


2.4 Transmissões por Engrenagens

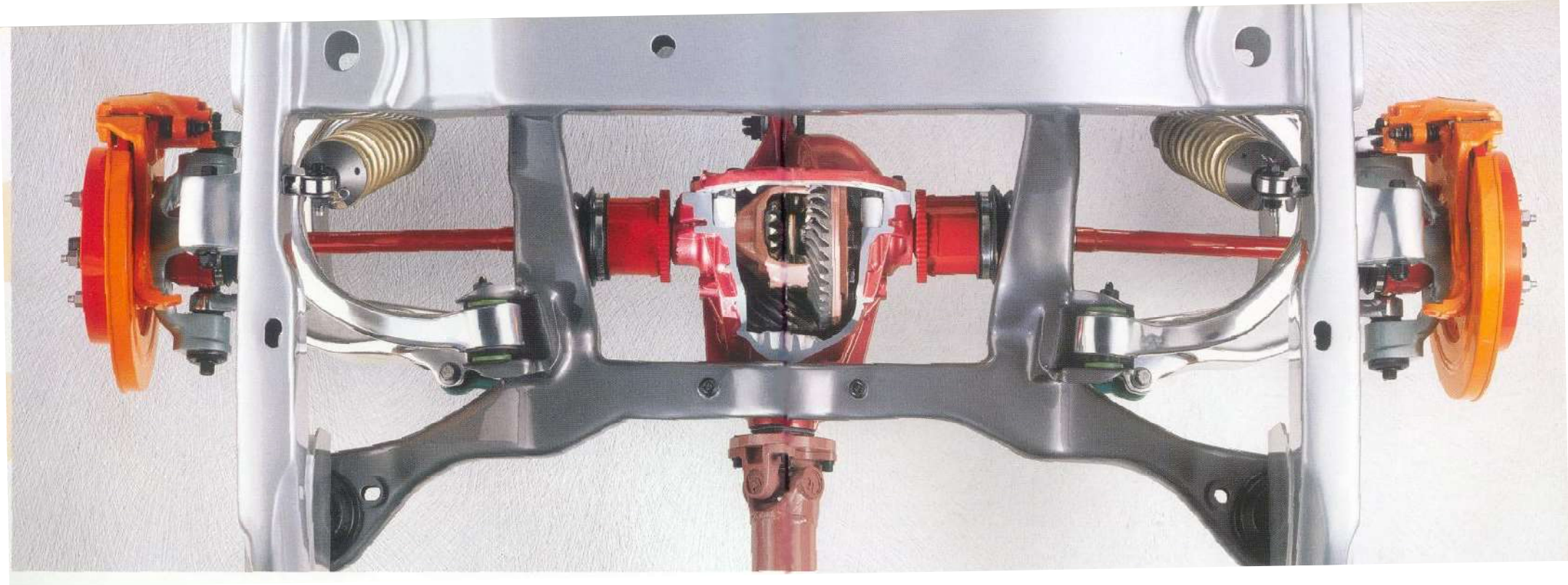
Acionamento por Engrenagens Cônicas



Caixa de Câmbio de Torno Horizontal



Transmissões por Engrenagens

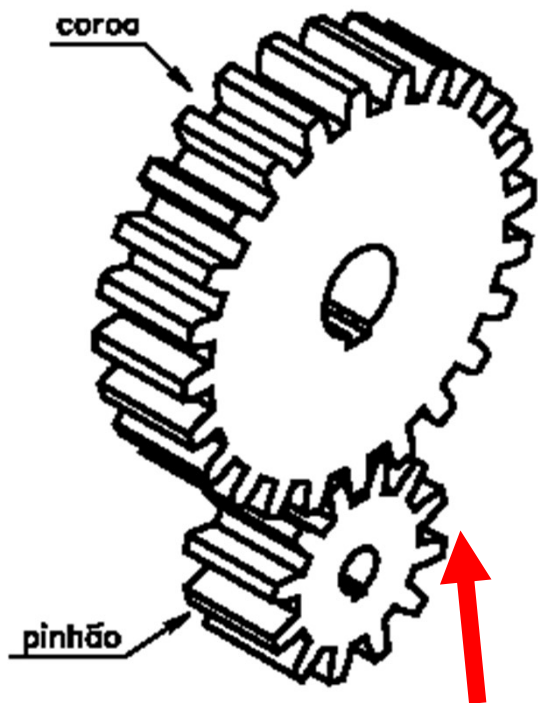


Eixo Cardã e Diferencial Traseiro de Veículo Automotor

Transmissões por Engrenagens

- As transmissões por **engrenagens** são uma alternativa às transmissões por correias e correntes para transmissão de potência entre **eixos paralelos**, embora esta possa, dependendo do tipo de engrenagem, transmitir potência entre **eixos não paralelos**.
- A engrenagem pode ser definida como uma roda dentada e a transmissão de esforços e conseqüentemente de potência, se dá por meio do contato entre os dentes de duas rodas dentadas, cada qual montada em um eixo.

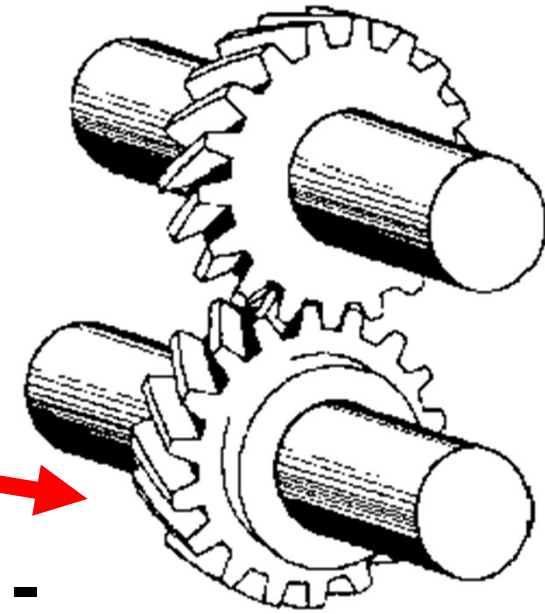
2.4.1 Tipos de Engrenagens



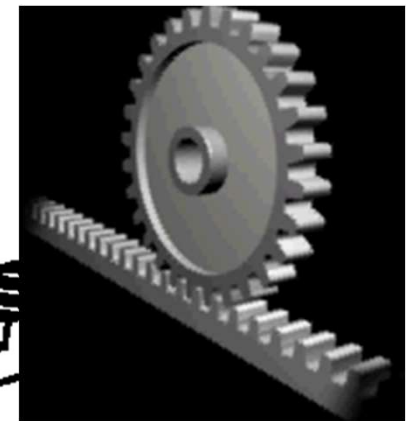
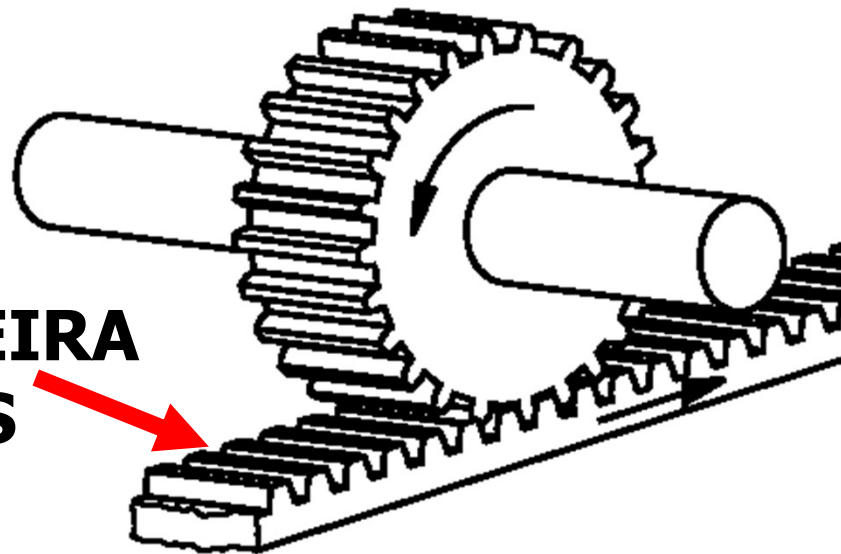
**ENGRENAGENS
CILÍNDRICAS
DE DENTES
RETOS
ECDR**



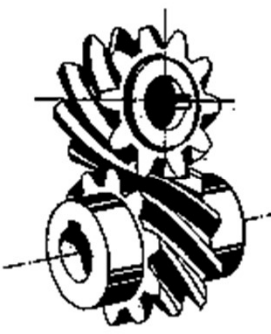
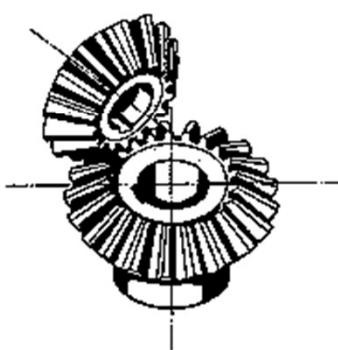
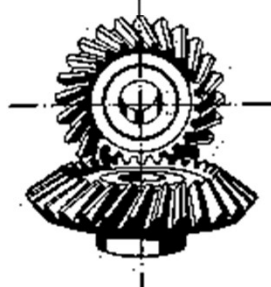
**ENGRENAGENS
CILÍNDRICAS DE
DENTES HELICOIDAIIS -
ECDH**



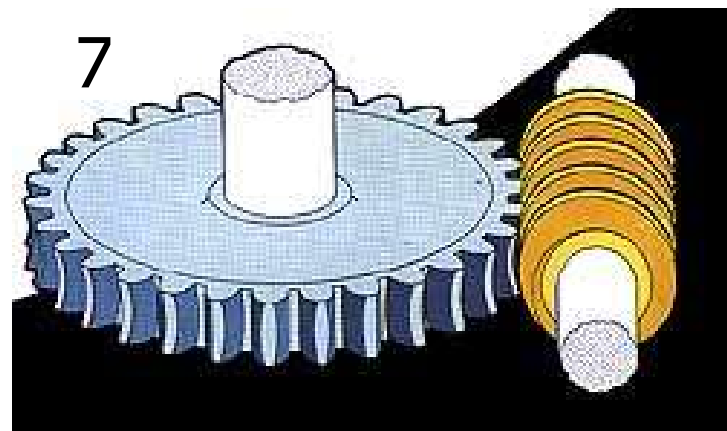
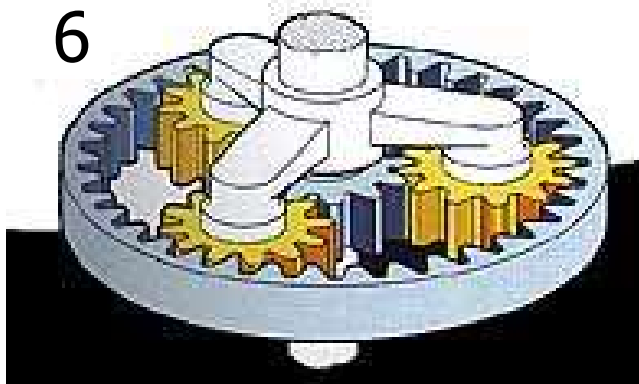
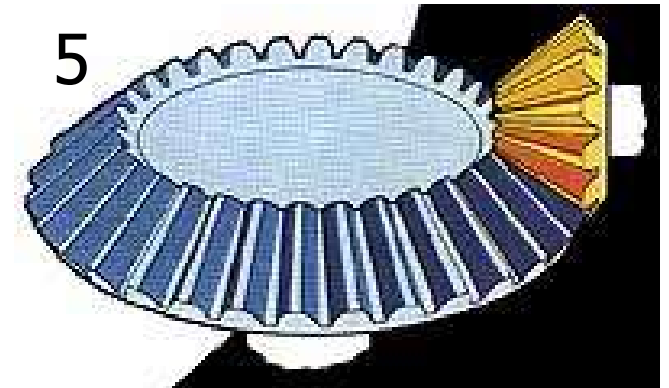
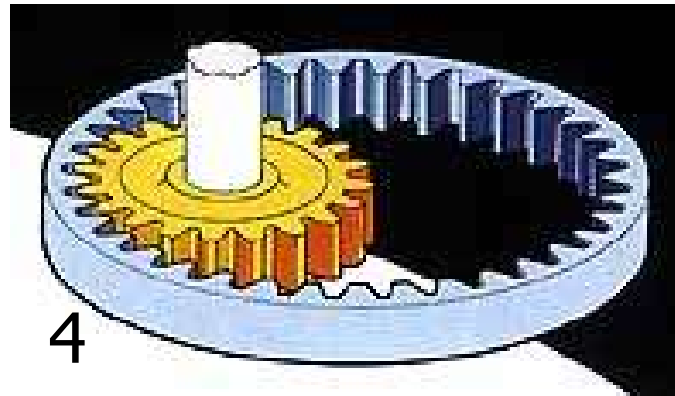
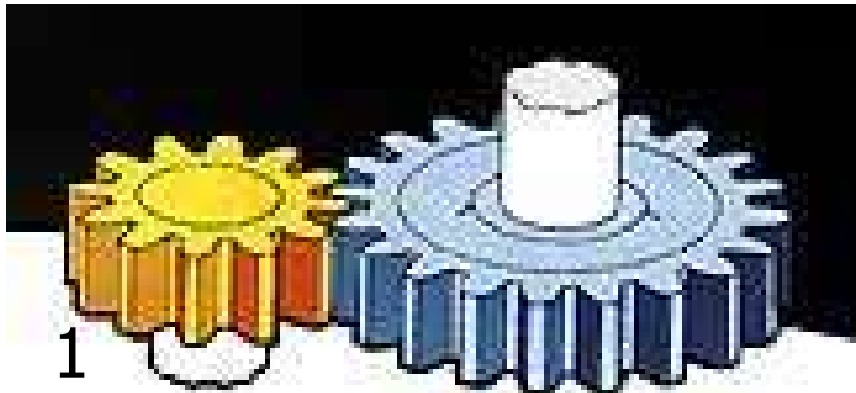
**PINHÃO –
CREMALHEIRA
DE DENTES
RETOS**



2.4.1 Tipos de Engrenagens

DESIGNAÇÃO		DESENHO	POSIÇÃO DE EIXO	OBSERVAÇÕES
ENGRENAGENS CILÍNDRICAS DENTES HELICOIDAIS			CRUZADOS	Utilizada para transmitir pequenas potências e pequenas distâncias de centro a centro. Apresentam rendimentos próximos das engrenagens cilíndricas helicoidais e aplicam-se para relação de multiplicação de até 1 : 5.
ENGRENAGENS CÔNICAS	DENTES RETOS		CORTAM-SE	São empregadas nos casos de necessidade de cruzamento de eixos. Atingem relações de multiplicação até 1 : 6. Às vezes são montados no sistema engrenado com outros pares de engrenagens cilíndricas retas.
	DENTES INCLINADOS		CORTAM-SE	Para melhorar a capacidade de carga e ainda o rendimento, atenuando o problema de ruído, utilizam-se de dentes espirais ou hipoidais (com deslocamento). O seu rendimento é comparável às engrenagens cilíndricas.

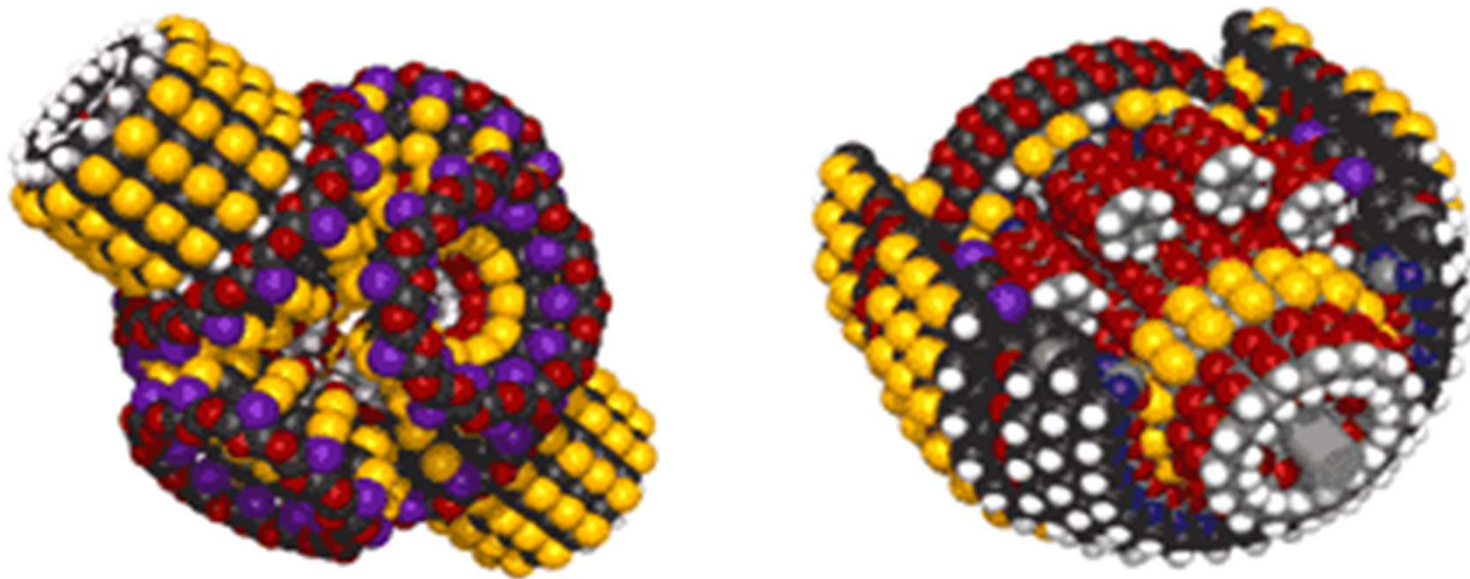
TIPOS DE ENGRENAGENS



- 1 RETA
- 2 HELICOIDAL
- 3 ESPINHA DE PEIXE
- 4 INTERNA
- 5 CÔNICA
- 6 PLANETÁRIA
- 7 SEM-FIM

ENGRENAGENS MOLECULARES

Molecular machinery

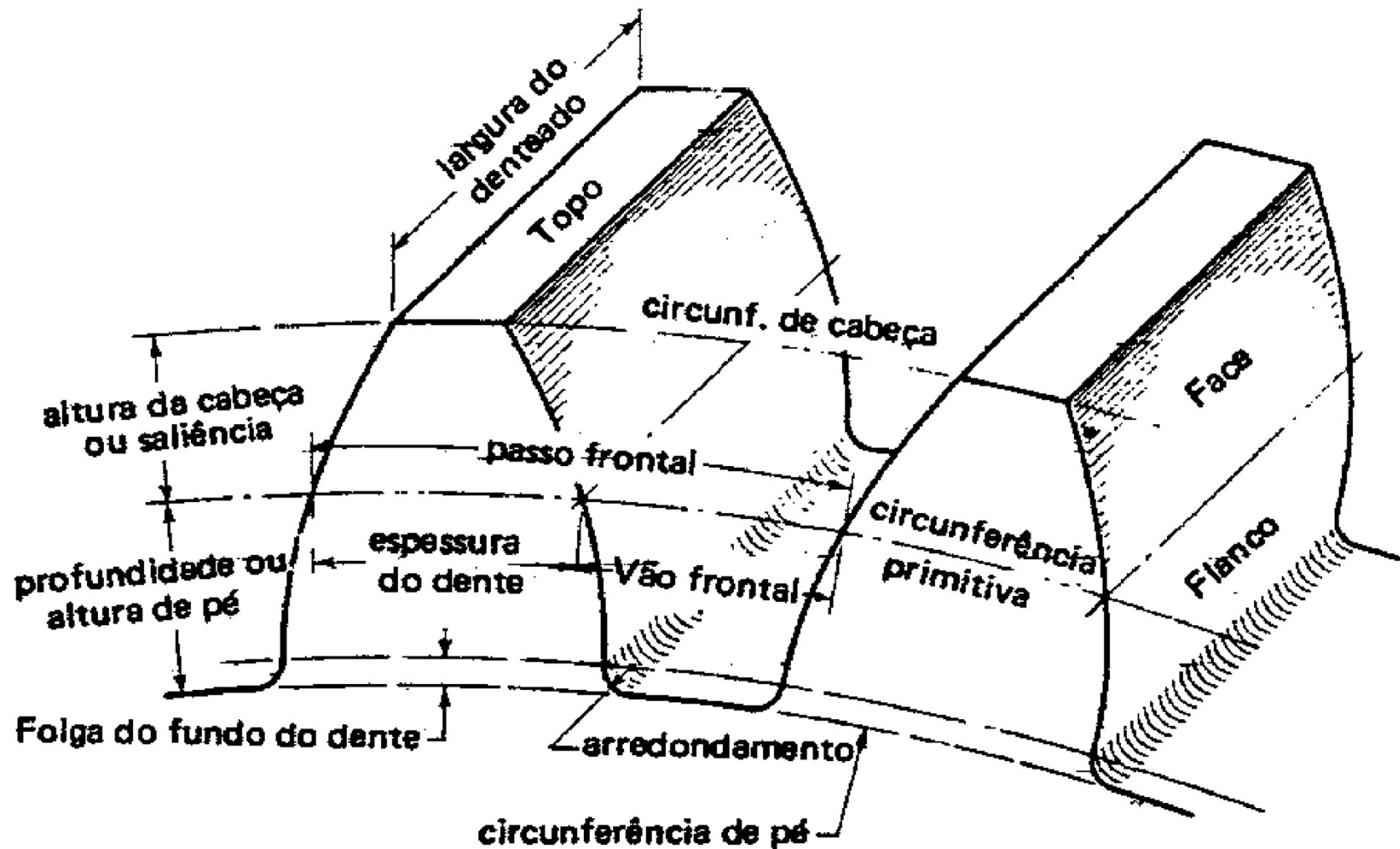


— These examples can be simulated, but not yet built —

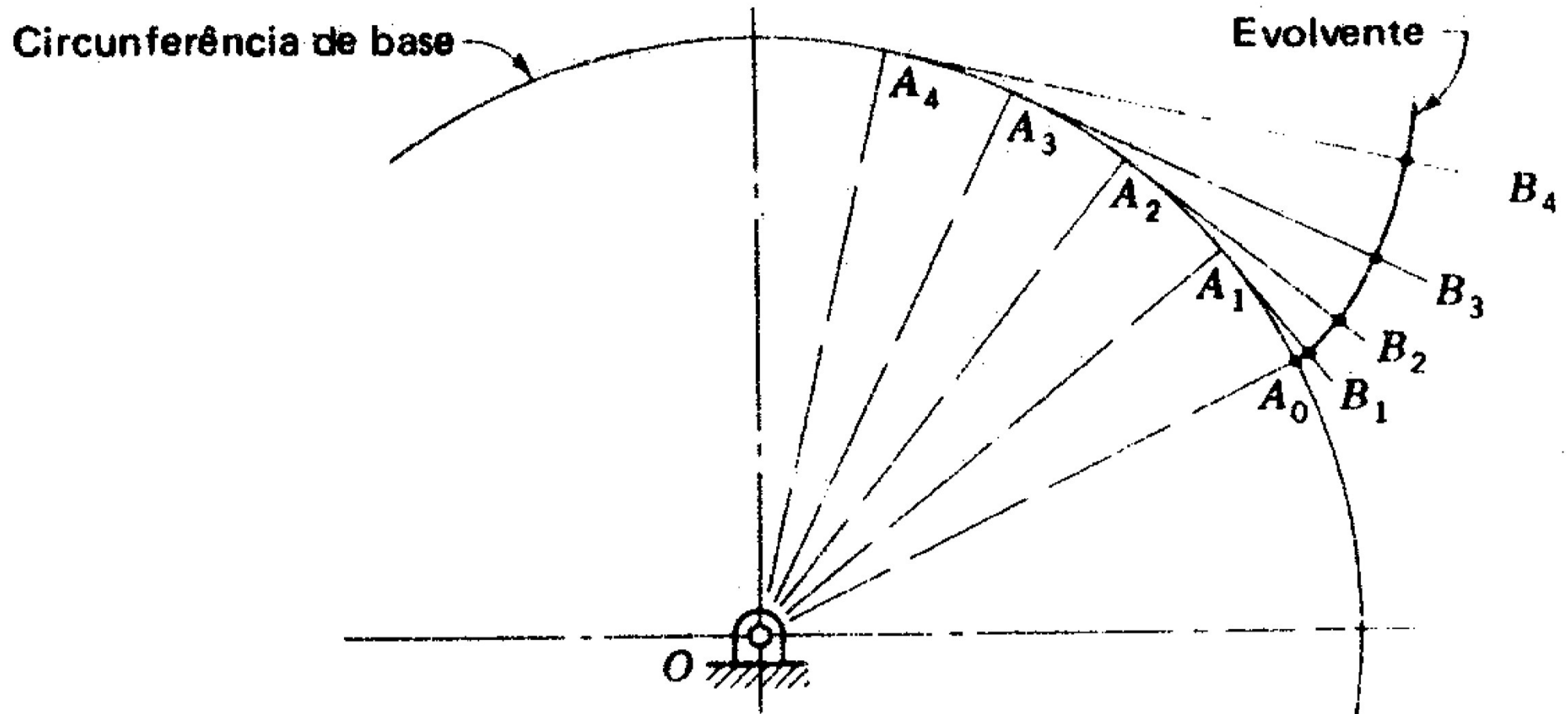
Molecular dynamics by NanoEngineer-1



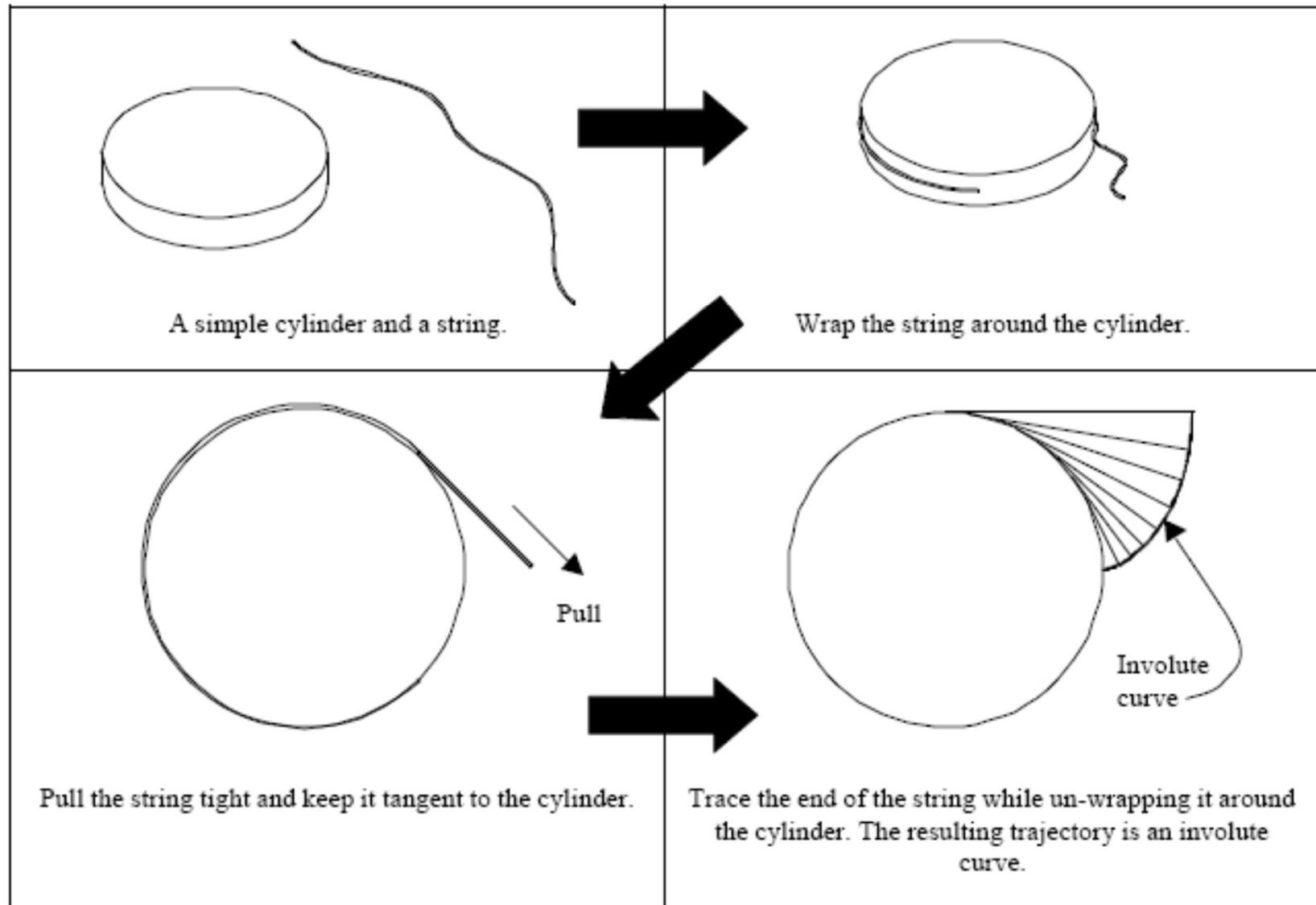
2.4.2 Geometria do Dente de uma Engrenagem Cilíndrica de Dentes Retos



PERFIL DO DENTE – EVOLVENTE DE CÍRCULO



CONSTRUINDO A EVOLVENTE DE CÍRCULO



CRIANDO DENTES DE EVOLVENTE

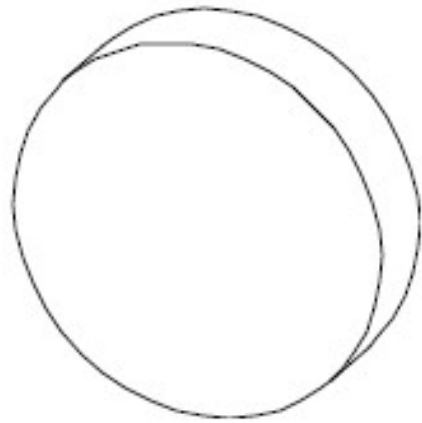


Figure 1

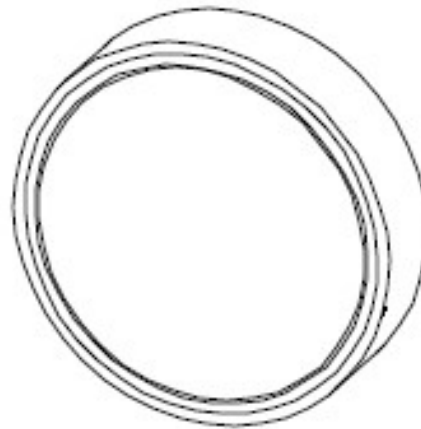


Figure 2

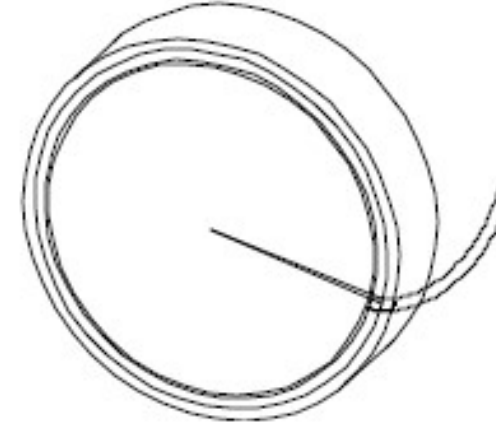


Figure 3

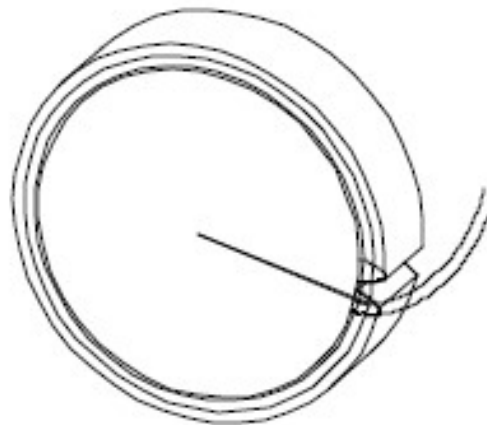


Figure 4

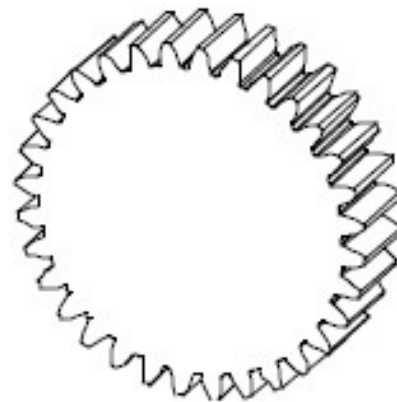


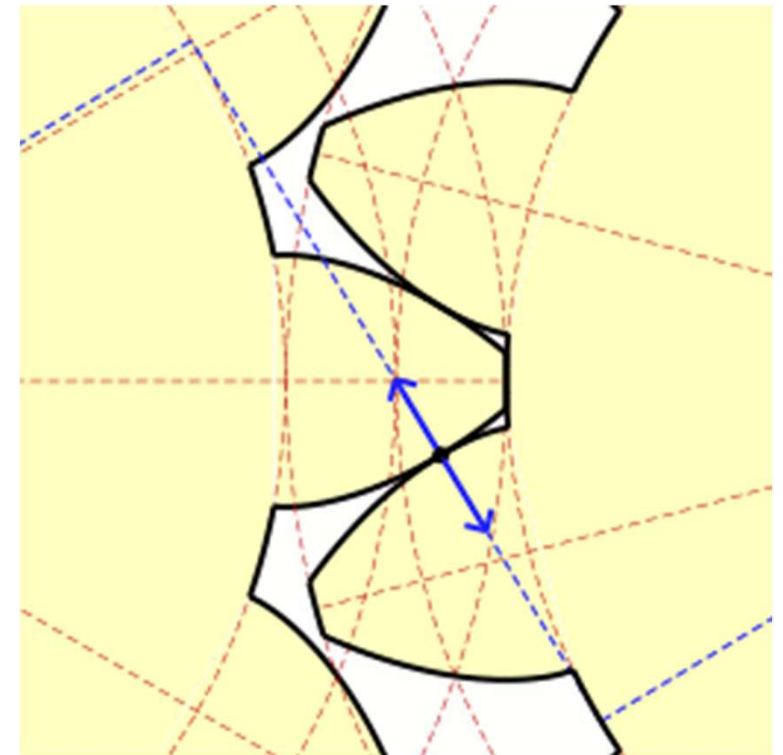
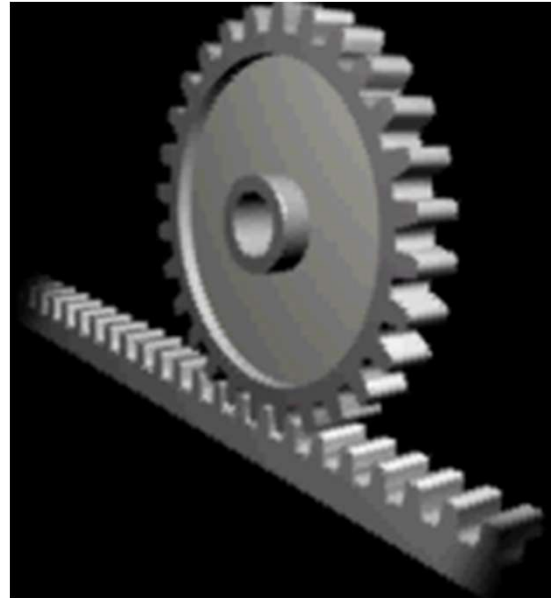
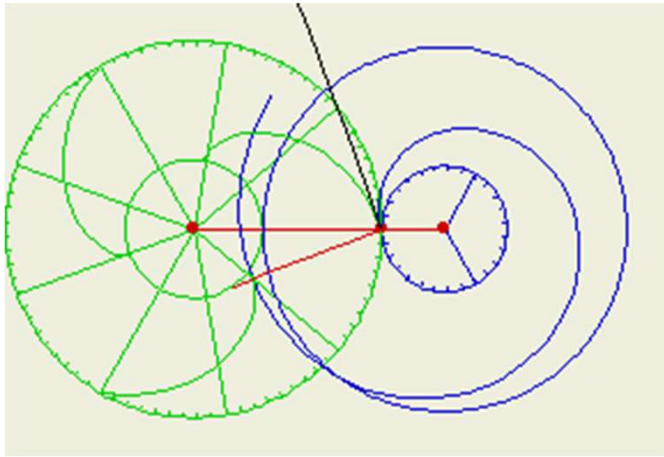
Figure 5



Figure 6

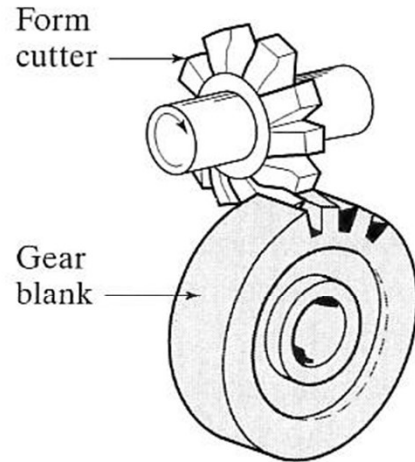
**CURVA
EVOLVENTE**

DENTES DE EVOLVENTE EM TRABALHO

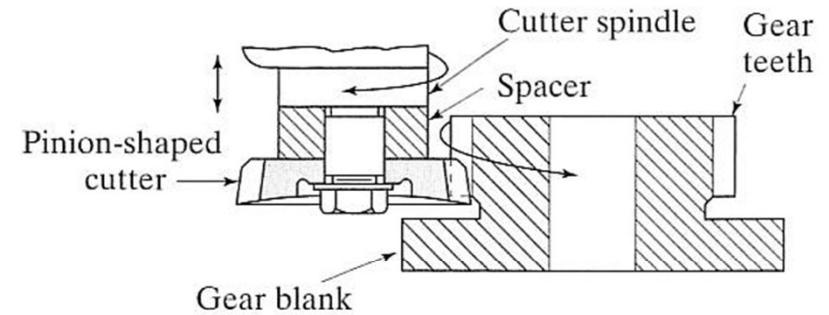


USINAGEM DE ENGRENAGEM

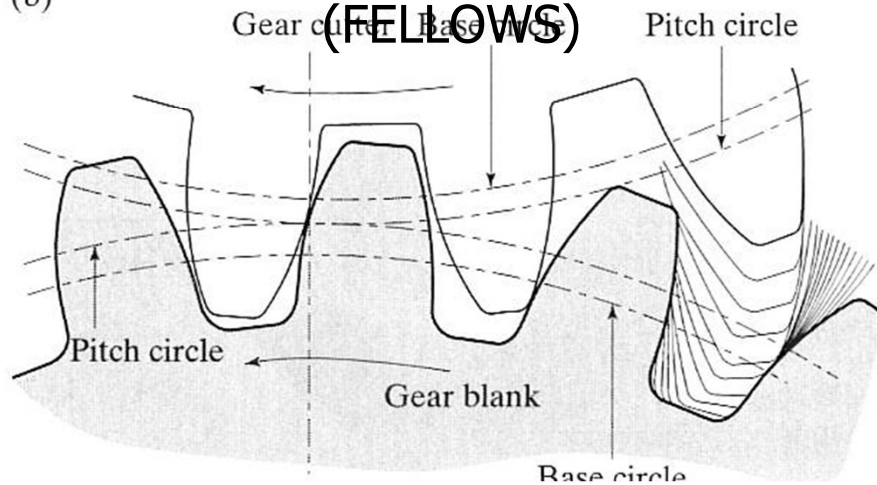
(a) FERRAMENTA DE FORMA



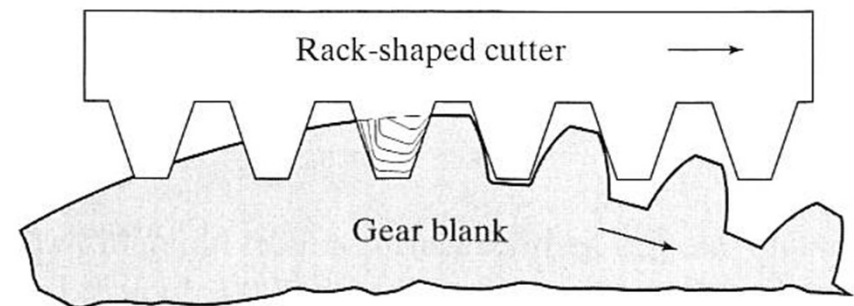
(c) FERRAMENTA TIPO ENGRENAGEM (FELLOWS)



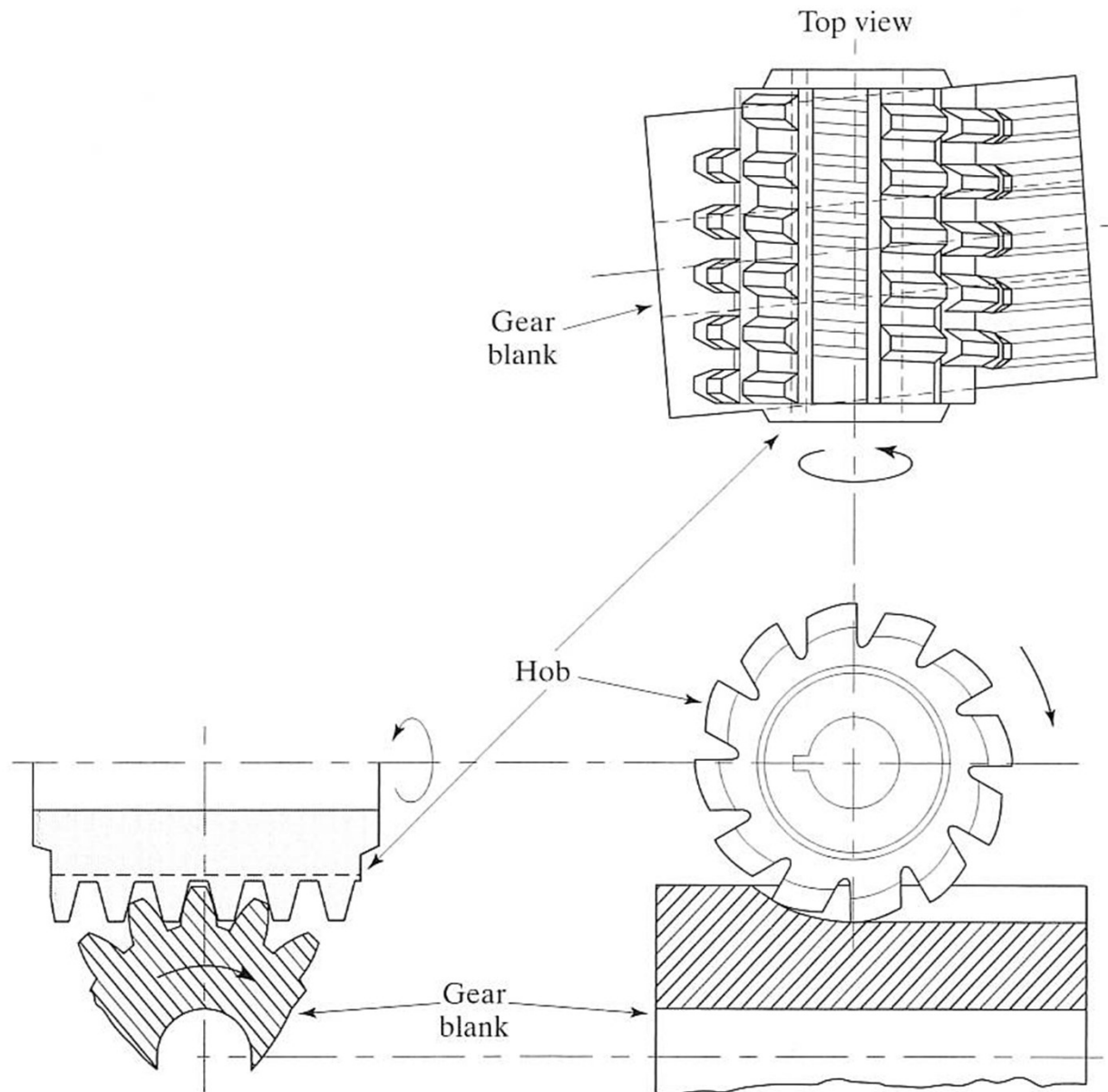
(b) FERRAMENTA TIPO ENGRENAGEM (FELLOWS)



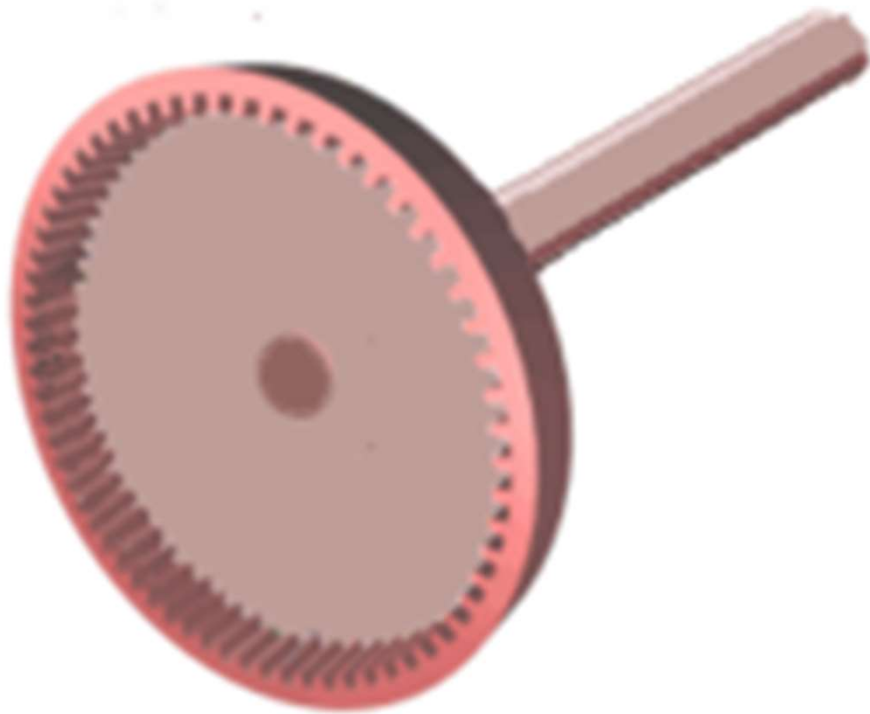
(d) FERRAMENTA TIPO CREMALHEIRA



USINAGEM DE ENGRENAGEM CILINDRICA DE DENTES RETOS COM FERRAMENTA TIPO CARACOL



DENTES INTERNOS DE EVOLVENTE



2.4.4 Relação de Transmissão

$$i = \frac{d_2}{d_1} = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

n_1 : velocidade de rotação da engrenagem de menor diâmetro;

n_2 : velocidade de rotação da engrenagem de maior diâmetro;

Z_1 : número de dentes da engrenagem de menor diâmetro;

Z_2 : número de dentes da engrenagem de maior diâmetro;

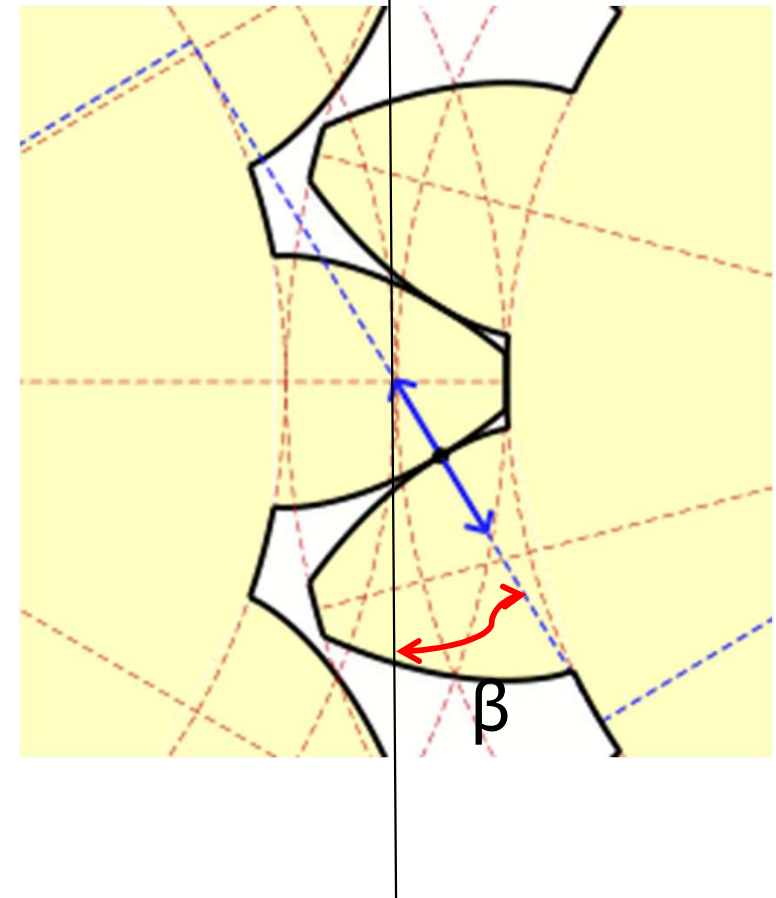
d_1 : diâmetro primitivo da engrenagem menor (pinhão) e

d_2 : diâmetro primitivo da engrenagem maior (coroa).

2.4.5.1 Condição de Engrenamento

- Para haver engrenamento entre duas engrenagens as mesmas devem apresentar o mesmo módulo e o mesmo ângulo de pressão.
- O módulo é definido pela relação entre o diâmetro primitivo (D_p) e o número de dentes (z), sendo expresso em **mm**:

$$m = D_p / z$$



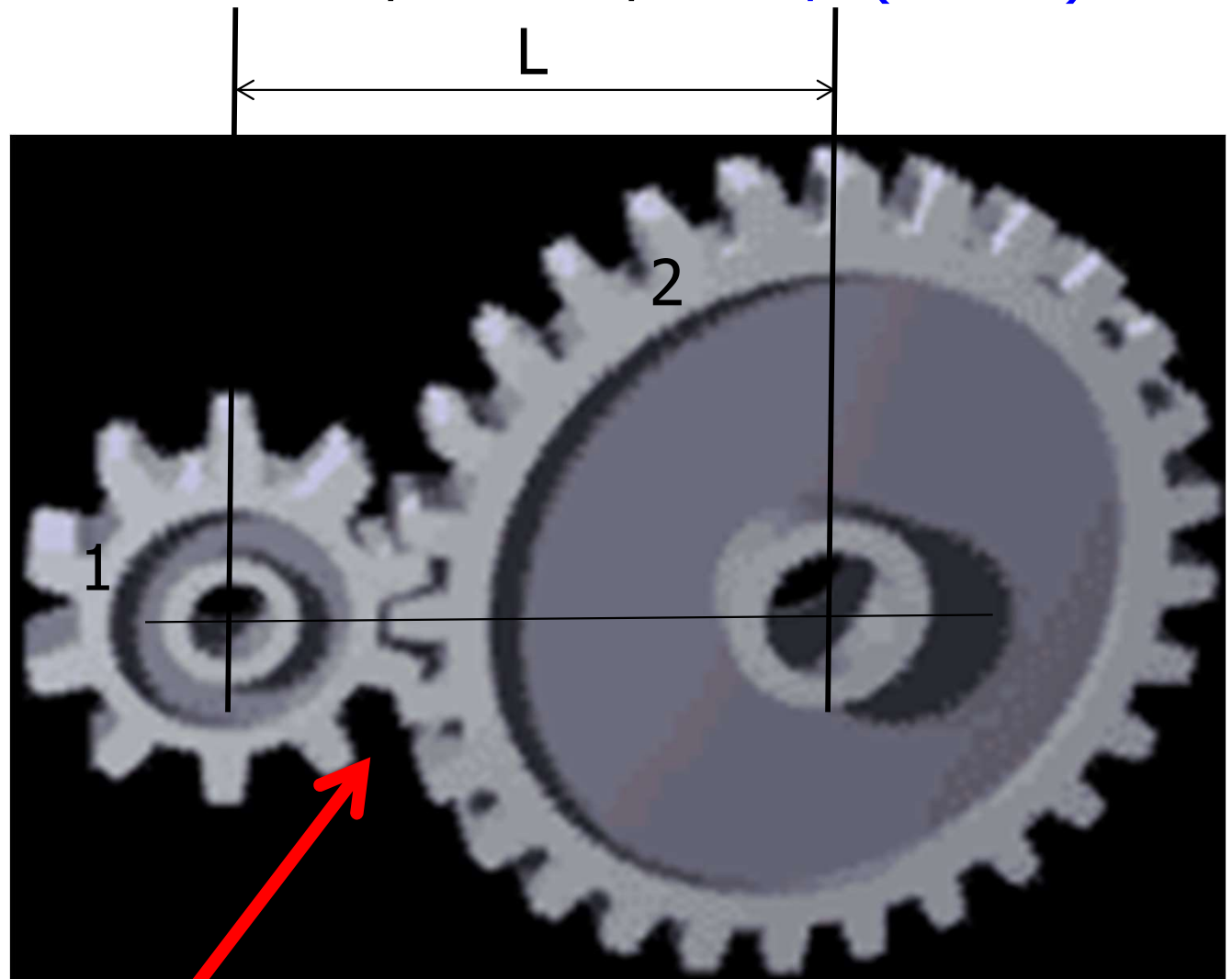
$\beta = \hat{\text{Ângulo de Pressão}}$

L= distância de centros da transmissão

Como se especifica?
Como se calcula?

As engrenagens giram, sem deslizar, sobre os seus diâmetros primitivos, ou seja a velocidade periférica das duas engrenagens no ponto de contacto, no diâmetro primitivo, é a mesma

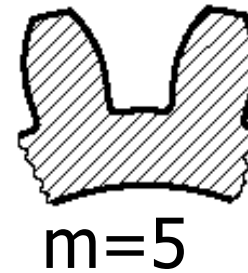
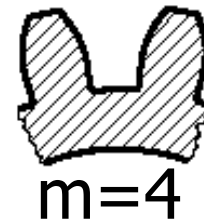
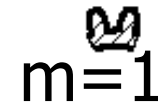
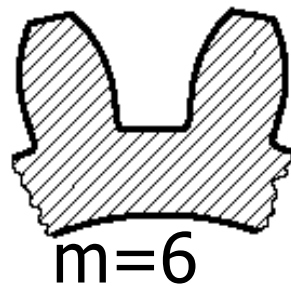
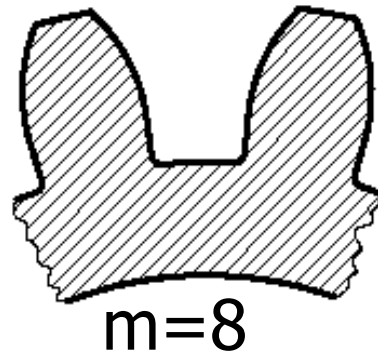
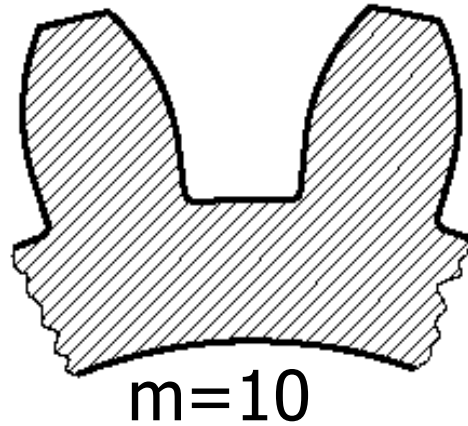
$$Dp1=m.z1 \quad Dp2=m.z2 \quad L=(Dp1/2)+(Dp2/2)$$
$$L=m.z1/2+m.z2/2= m/2(z1+z2)$$



Neste caso se $m=5$ milímetros (mm)

$$L= 5/2(10+28)= 95 \text{ mm}$$

2.4.5.2 Módulos Normalizados

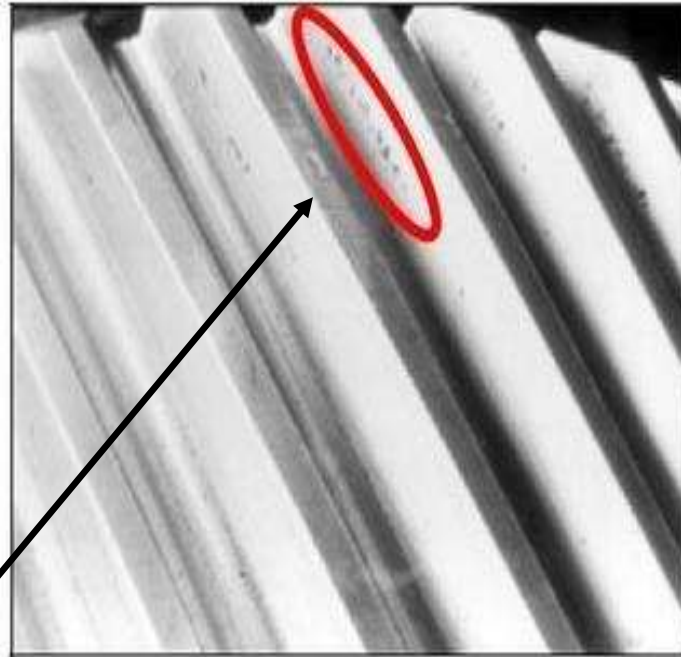


2.4.6 Falhas nos Dentes de Engrenagens

(a)



(b)

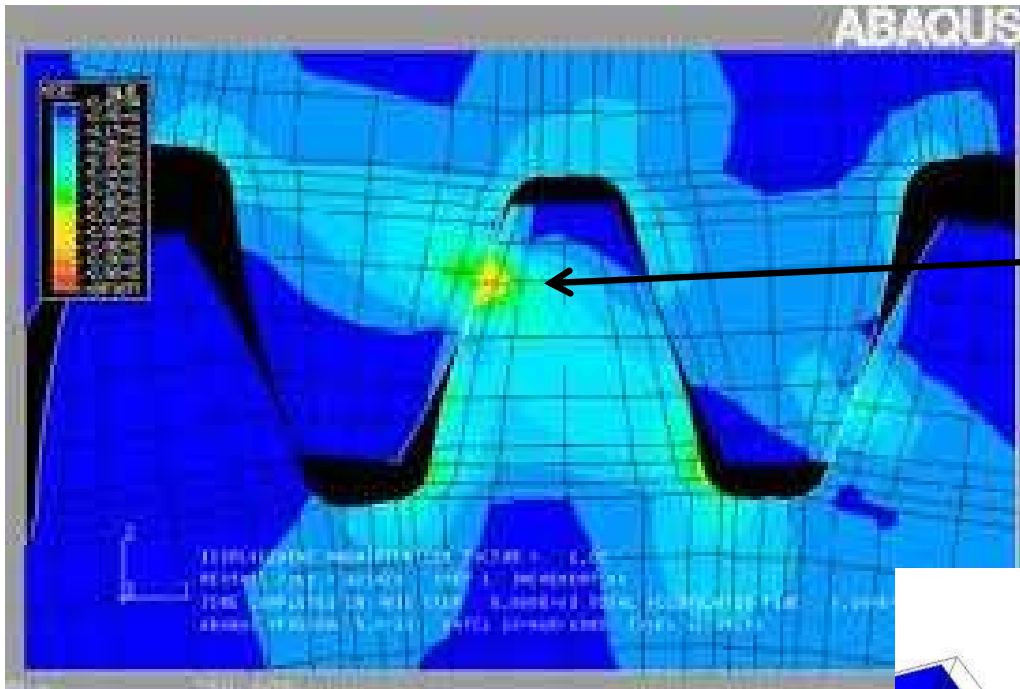


(c)

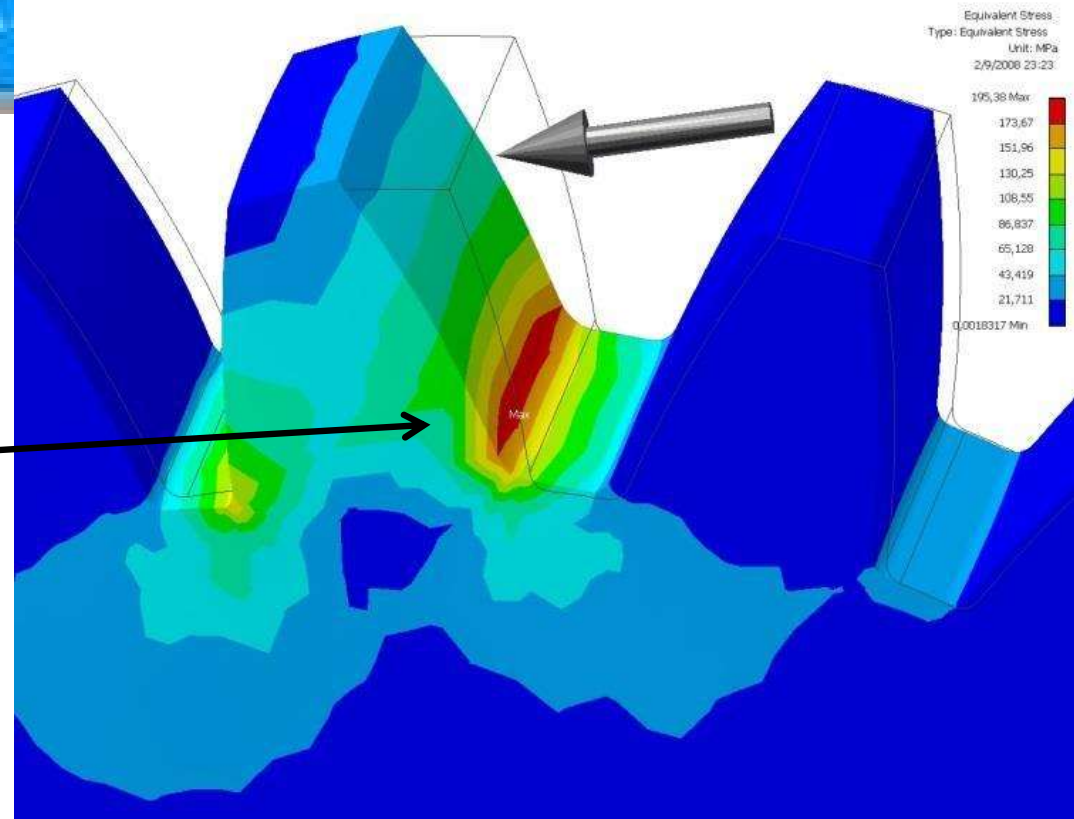


Fadiga de Contato

Fadiga de Flexão



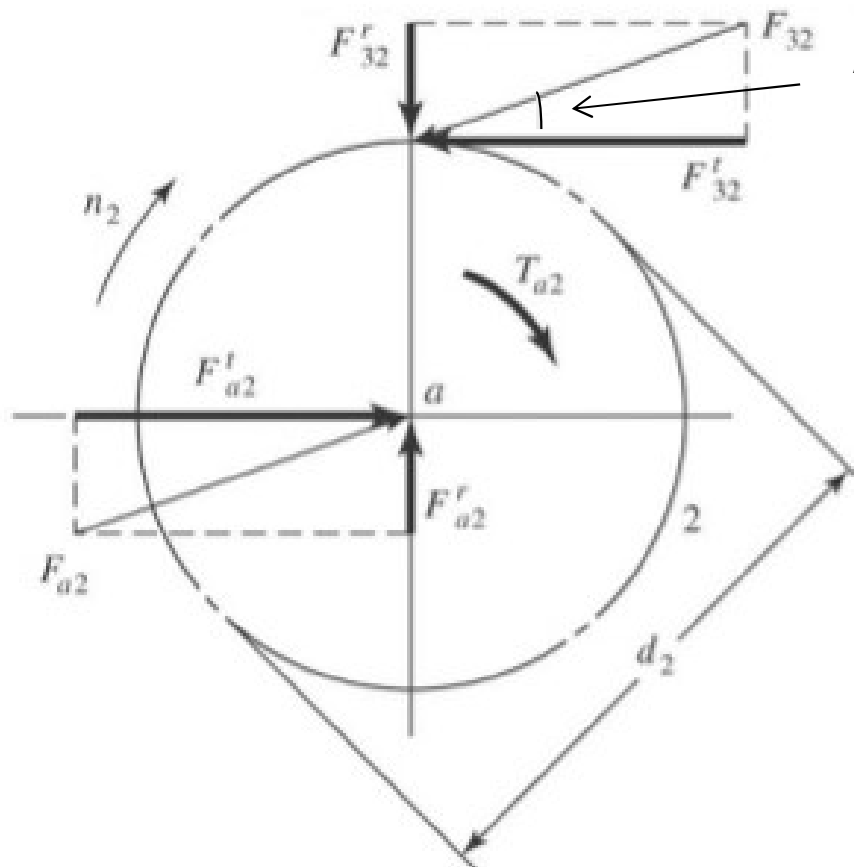
Tensões de Contato
(Modelo de Hertz)



Tensões de Flexão
(Modelo de Viga)

2.4.7 Forças nos Dentes de Engrenagens ECDR

- Torque aplicado e carga transmitida:
- A componente radial não transmite torque.



Ângulo de pressão (ϕ)

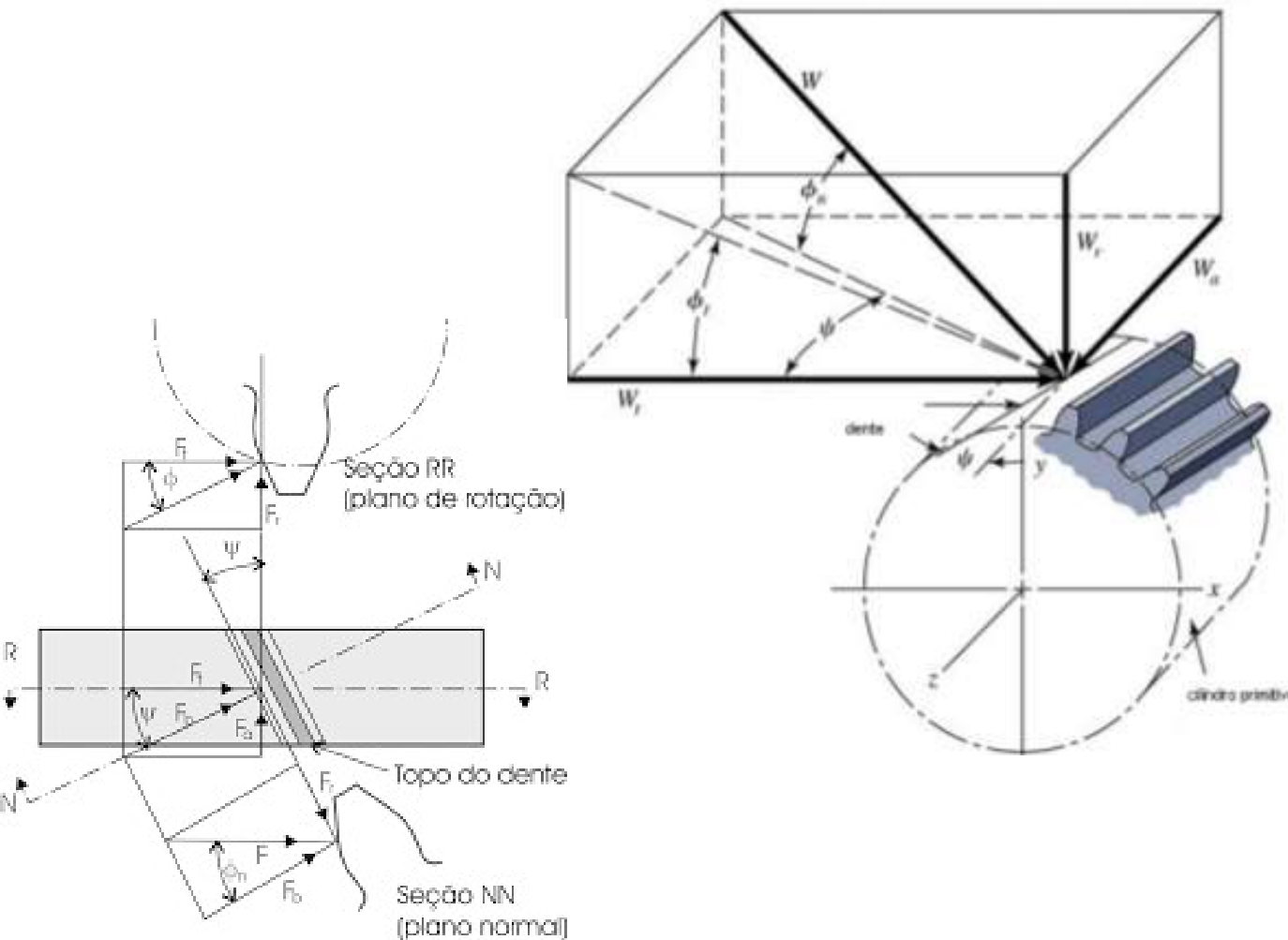
$$W_t = F_{32}^t$$

$$T = \frac{d}{2} W_t$$

$$F_{23}^r = F_{23}^t \tan \phi$$

2.4.8 Forças nos Dentes de Engrenagens ECDH

- O ponto de aplicação dessas forças localiza-se no plano de passo primitivo e no centro da face da engrenagem.

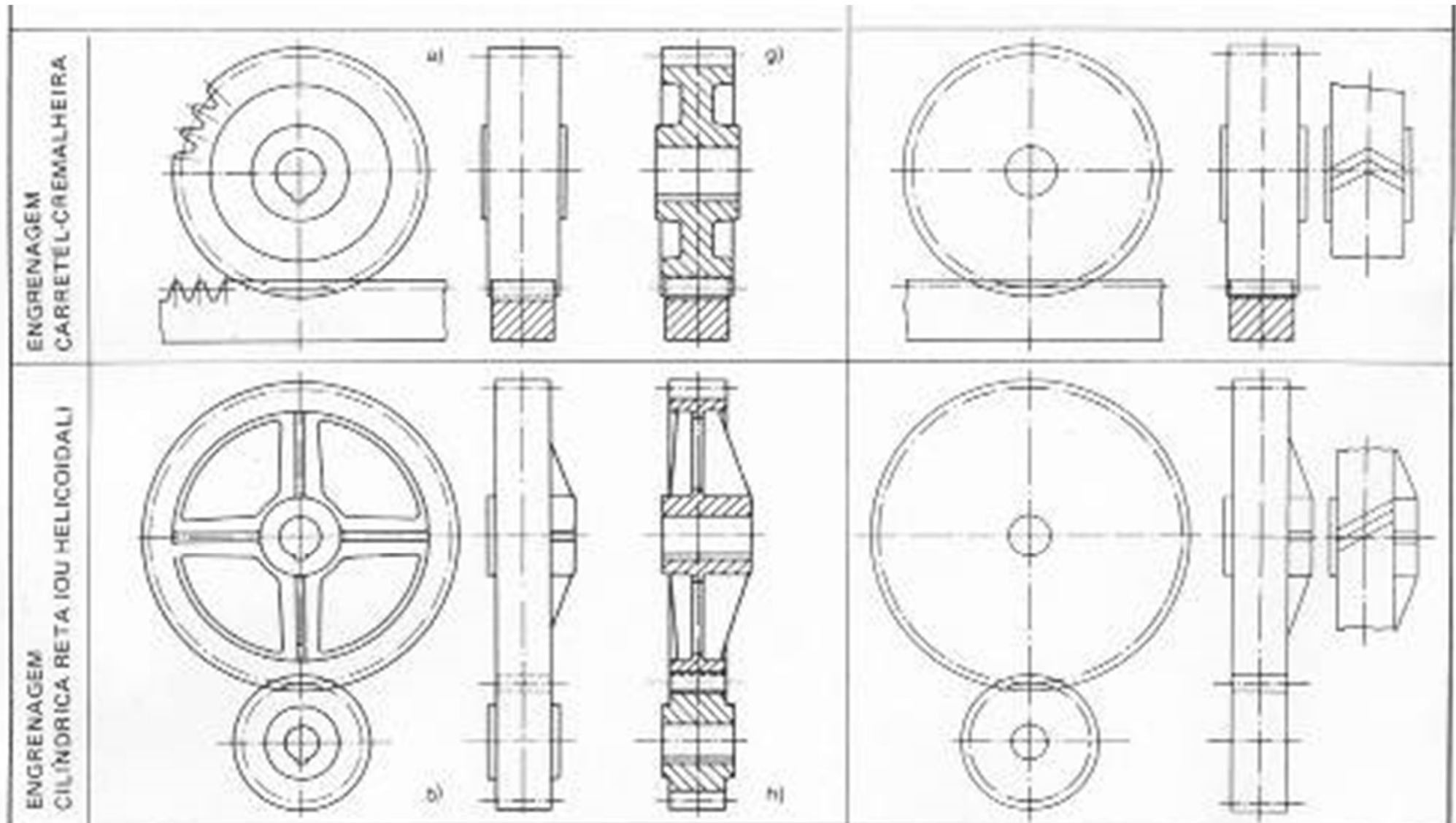


$$W_r = W \text{sen} \phi_n$$

$$W_t = W \cos \phi_n \cos \psi$$

$$W_a = W \cos \phi_n \text{sen} \psi$$

2.4.9 Representação de Engrenagens

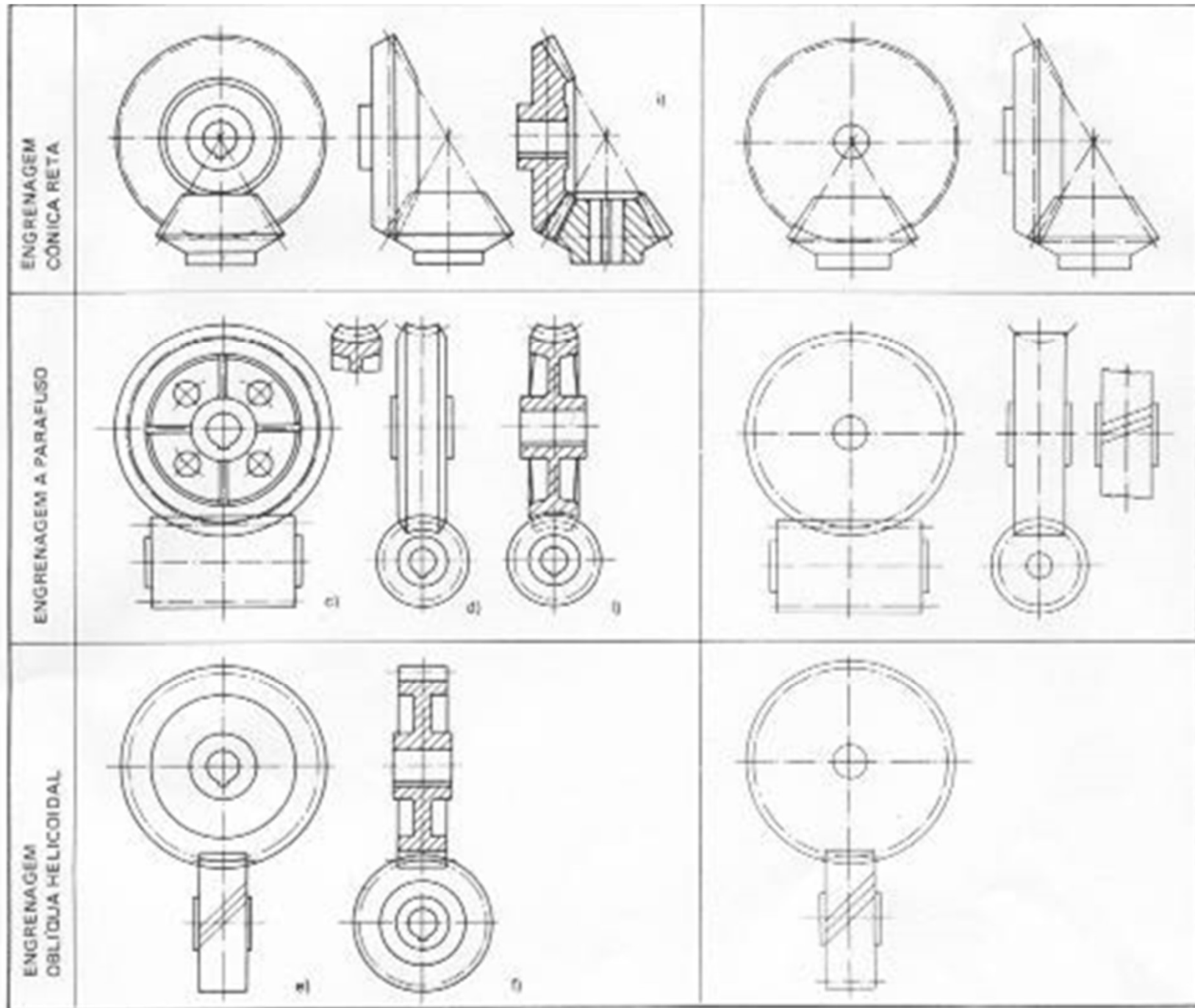




Engrenagem
Espinha de Peixe



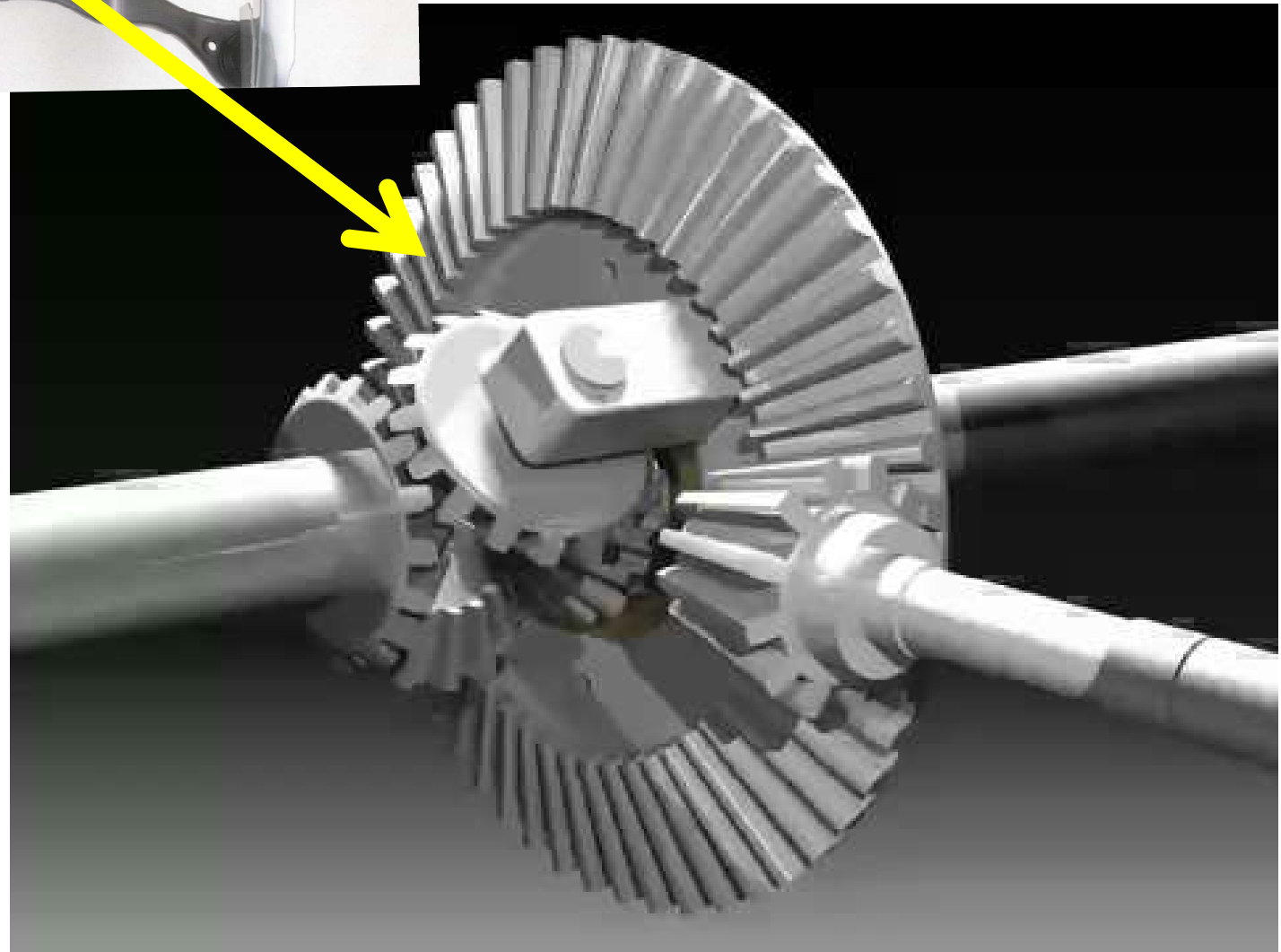
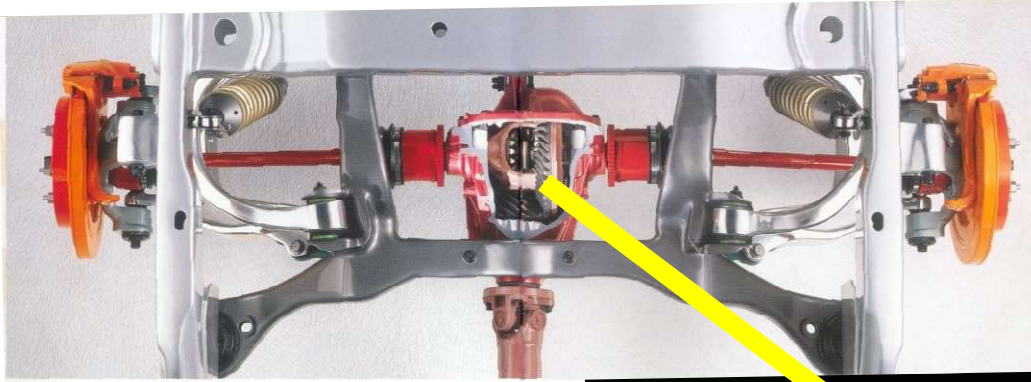
2.4.8 Representação de Engrenagens

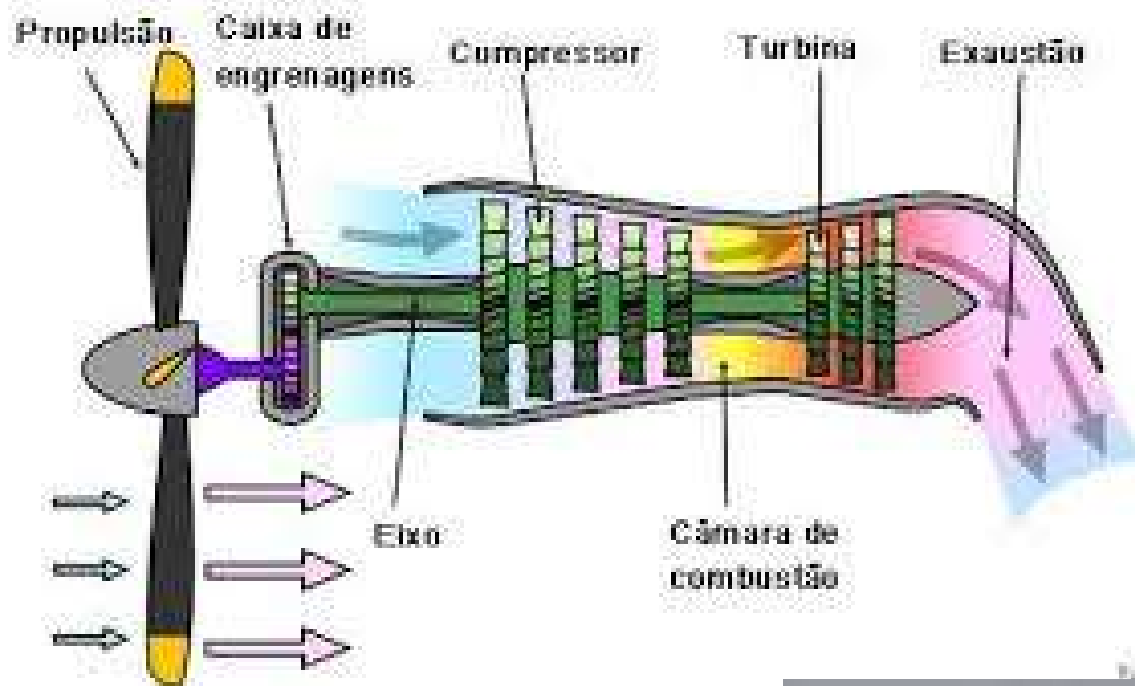


2.4.9 Características das Transmissões por Engrenagens

- projeto compacto
- montagem entre eixos paralelos, reversos ou que se cruzam
- relação de transmissão constante
- distância entre centros precisa
- relação de transmissão até 8 por par de engrenagens (exceto coroa/sem-fim)
- potência de transmissão até 2500 HP
- velocidade tangencial de operação até 20 m/s
- elementos não padronizados (uma solução para cada problema)
- custo elevado.

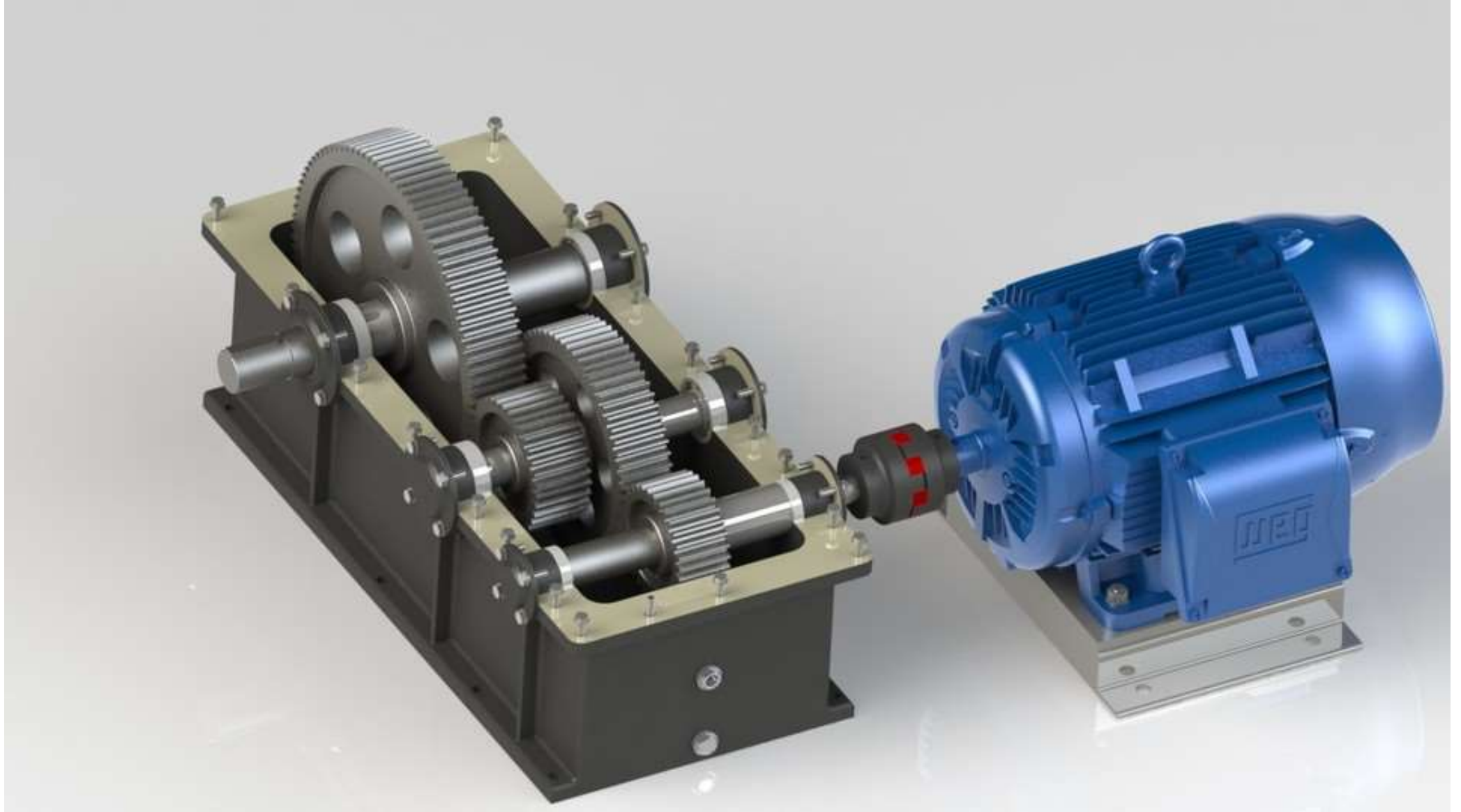
TRANSMISSÃO AUTOMOTIVA (DIFERENCIAL)



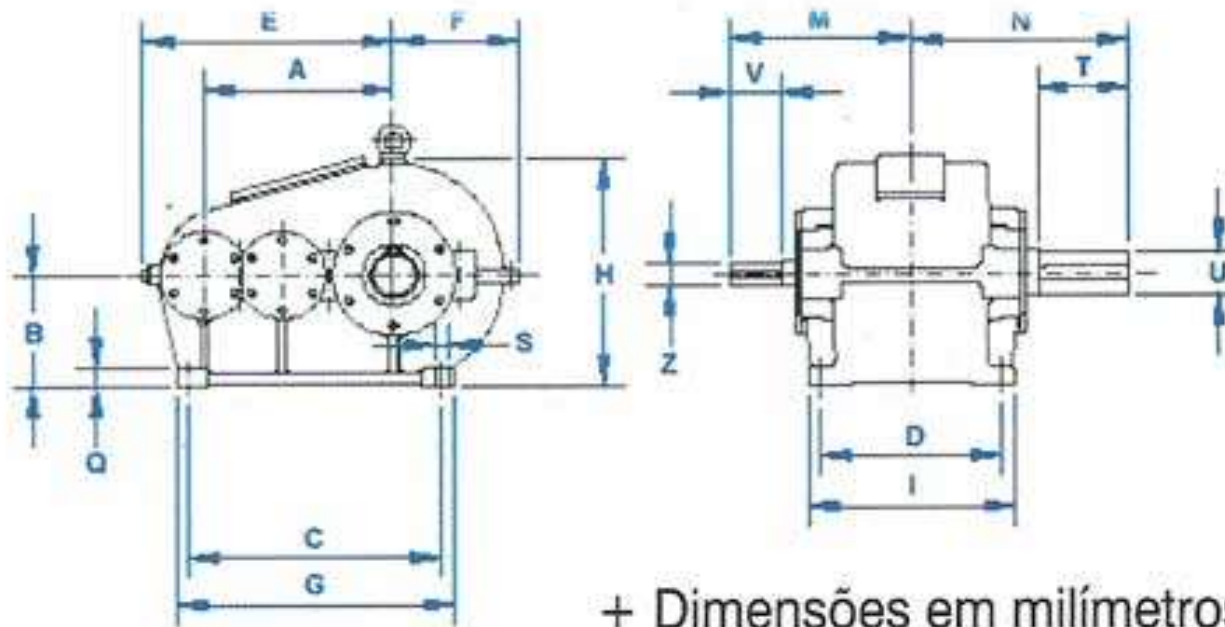


Redutor de Propulsão Turbo-Hélice



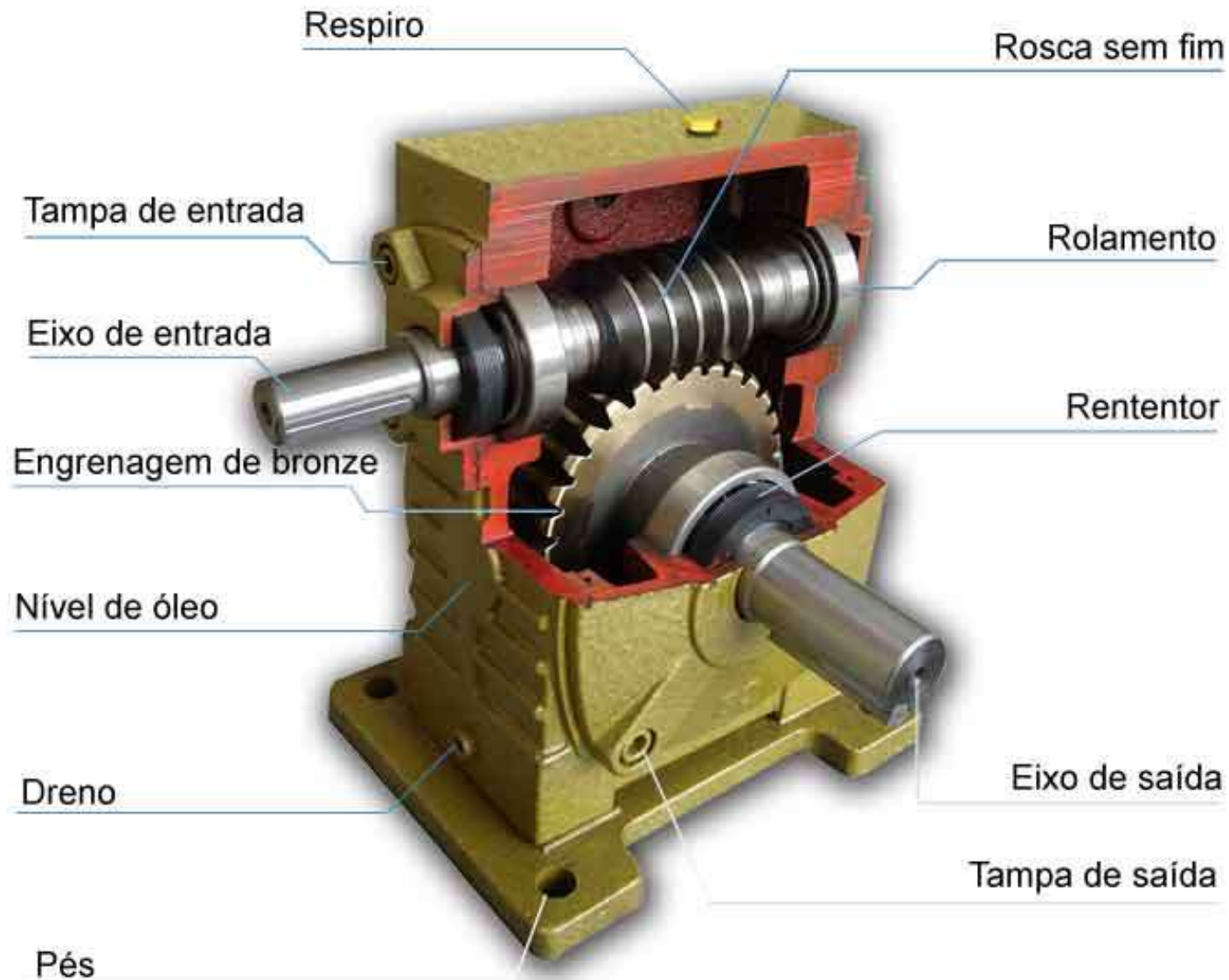


REDUTOR DE ENGRENAGENS



TAMANHO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	M	N	
TRH03	254	150	327	242	338	172	370	305	278	248	300	
TRH04	280	165	365	263	372	184	425	332	310	275	334	
										CHAVETA		PESO
	Q	T	U	V	Z	S		ENTRADA	SAÍDA			EM KG
TRH03	26	122	56	72	26	4X21/32"		8 X 7	16 X 10			125
TRH04	26	135	62	80	31	6X21/32"		10 X 8	18 X 11			165

REDUTOR COROA/SEM-FIM



QUAL É A RELAÇÃO DE TRANSMISSÃO????



F124 – German Navy

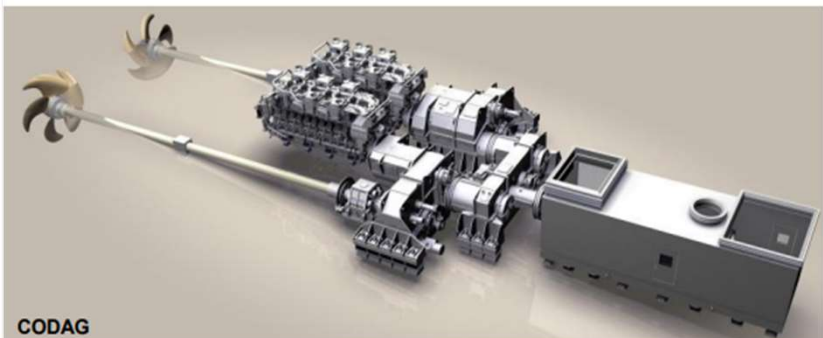


MILGEM Corvette – Turkish Navy

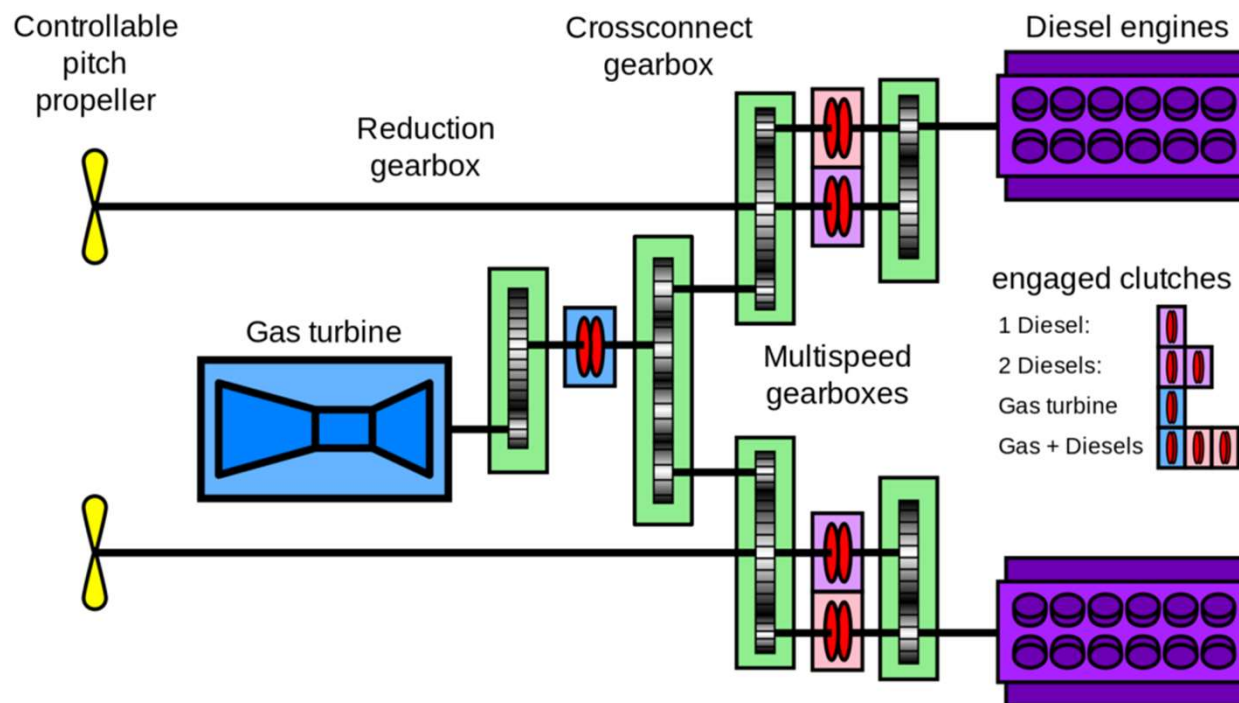


NSC Deepwater – US Coast Guard

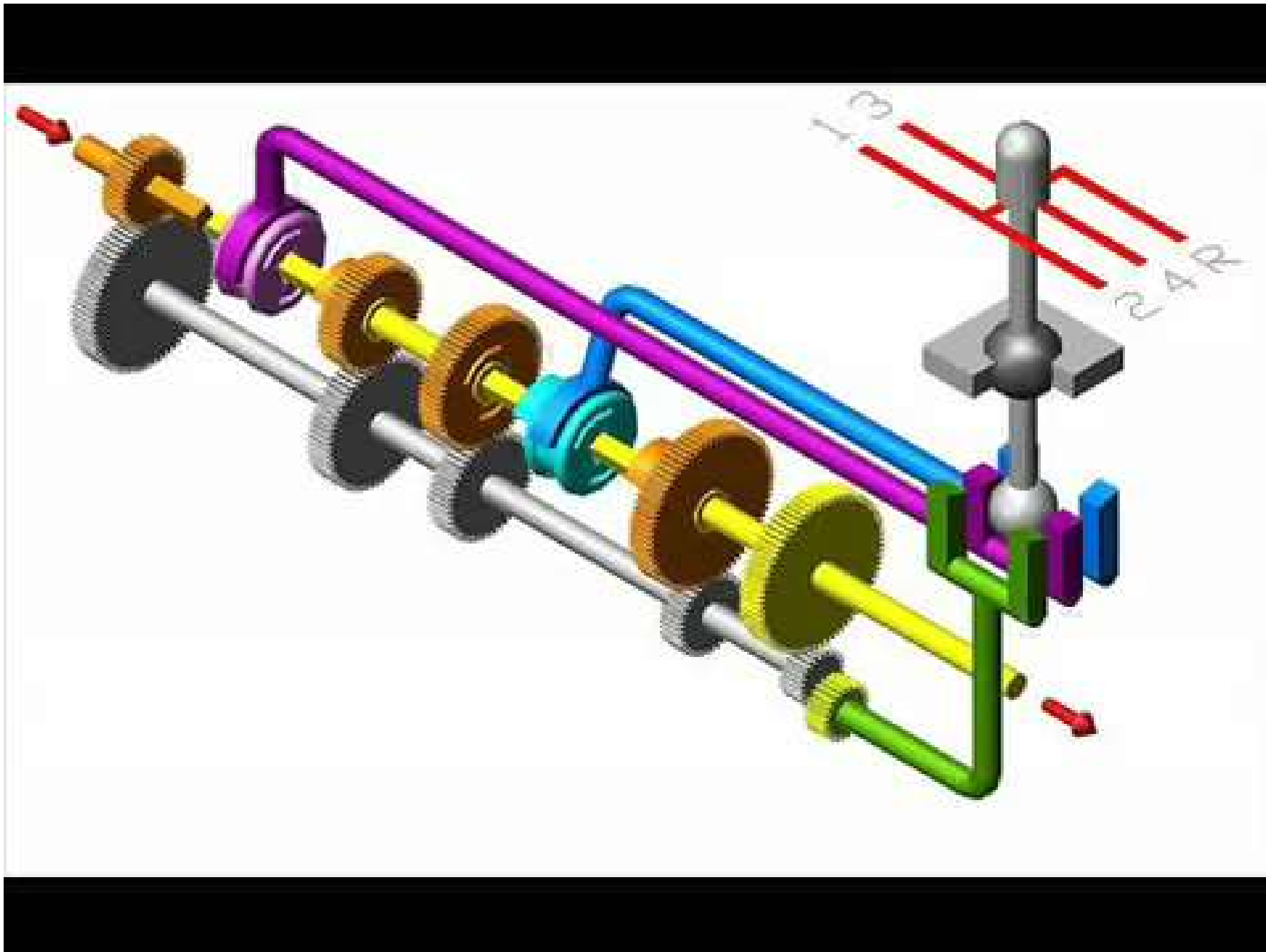
Sistema de propulsão Combinado Diesel e Turbina a Gás



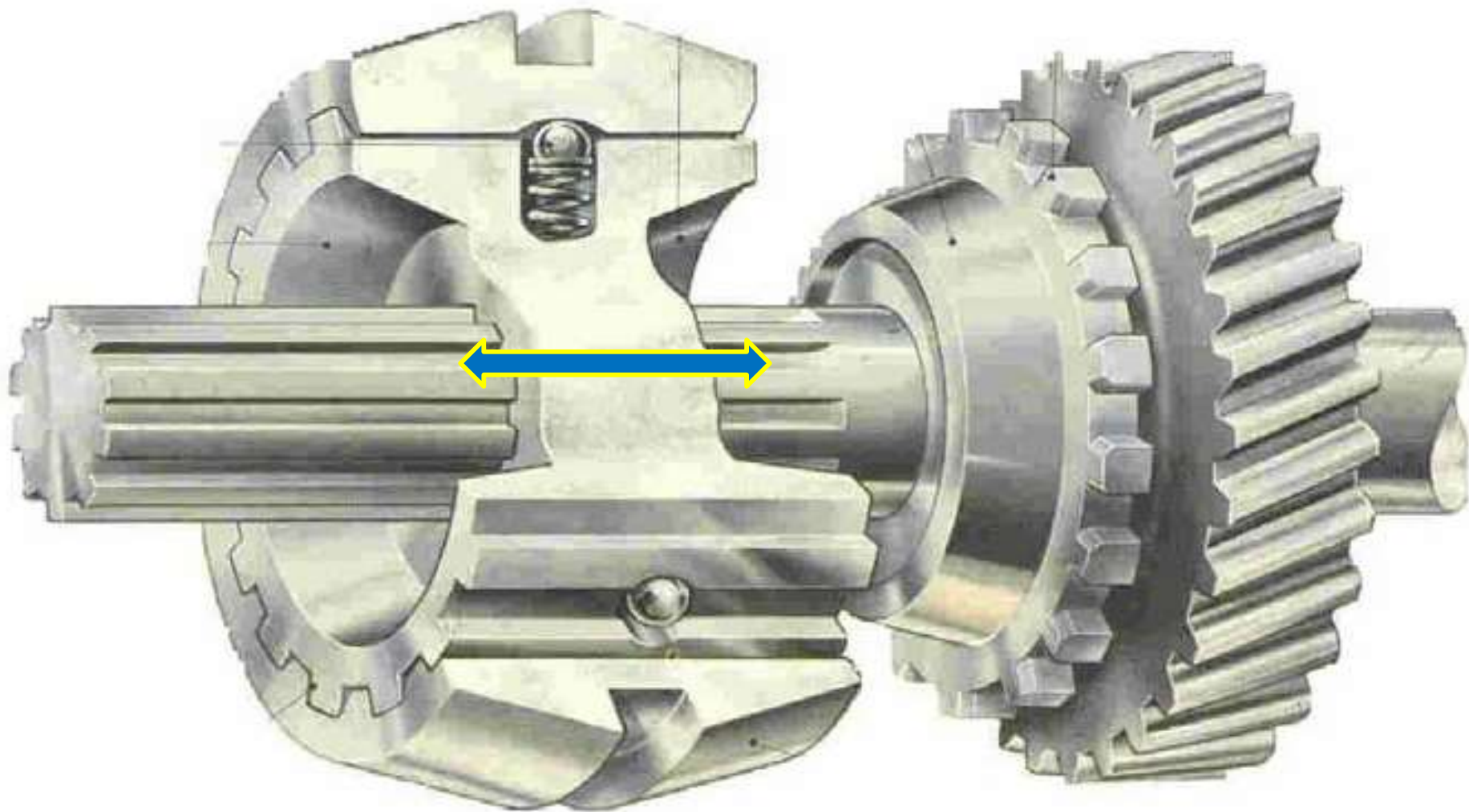
CODAG



TRANSMISSÃO POR ENGRENAGENS - CAIXA DE CÂMBIO MANUAL



MECANISMO DE SINCRONIZAÇÃO DE CAIXA DE CÂMBIO AUTOMOTIVA



3. Comparação entre Tipos de Transmissão

	Vel	Sinc	η	Conjug	I	Dist.	Manut.	Custo
Tipo								
Rodas Atrito	2	Não	2	2	≤ 8	1	3	3
Correias Planas	4	Não	3	2	≤ 5	3	2	2
Correias Trapezoidais	2	Não	3	2	≤ 7	3	2	2
Correias Sincronizadoras	3	Sim	4	2	≤ 8	3	1	3
Correntes	1	Sim	3	4	≤ 6	3	4	3
Engrenagens	3	Sim	4	4	≤ 8	1	4	4

4 = Alto / Grande

1 = Baixo / Pequeno