

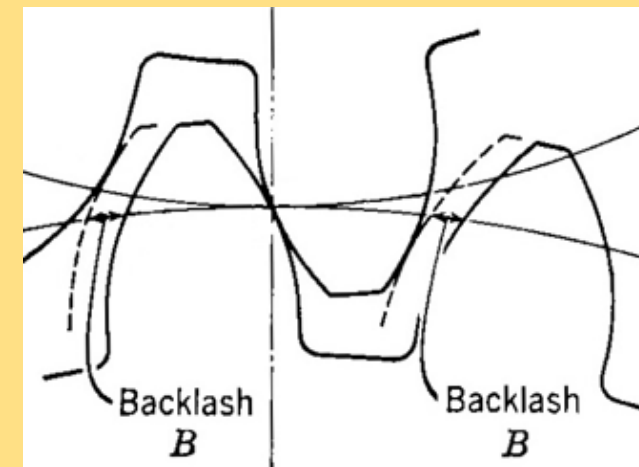
PORQUE TEMOS QUE TER FOLGA NOS DENTES OU “BACKLASH”?

Todas as engrenagens devem ser fabricadas de forma que, quando montadas umas com as outras, apresentem uma folga.

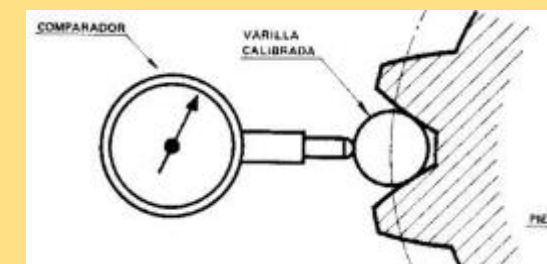
O motivo desta folga vem de que devemos:

- ✓ Ter um espaço suficiente para a película de lubrificante.
- ✓ Absorver a dilatação diferencial entre os componentes da engrenagem e caixa.
- ✓ Compensar todos os desvios que ocorrem na fabricação, tais como:
 - Runout de ambas as engrenagens;
 - Desvios no perfil, passo, espessura do dente, ângulo da hélice e distância do centro.

Esta folga é obtida diminuindo-se a espessura do dente durante a fabricação.



Runout



Ao projetar uma folga, considere os seguintes fatores:

- ✓ Quanto menor a quantidade de folga, mais precisa a usinagem das engrenagens deve ser.
- ✓ Condições de trabalho, tais como inversão frequente ou sobrecarga

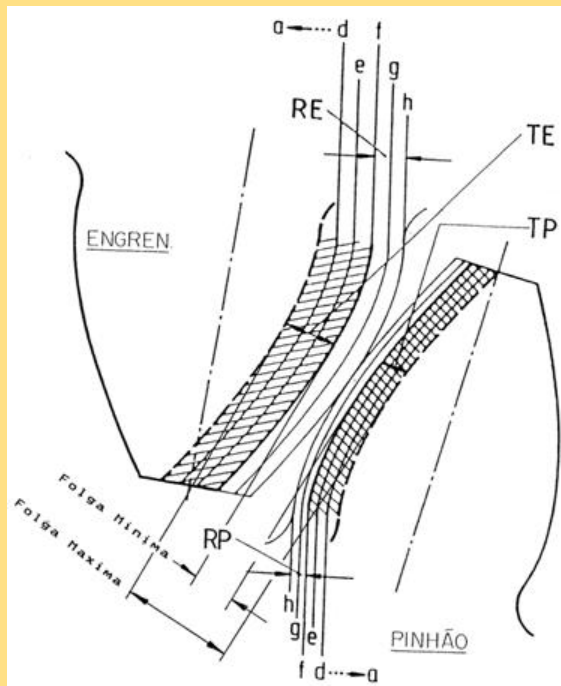
NORMAS:

- DIN 3967 – Backlash – Tooth Thickness Allowances
- ANSI/AGMA 2002-B88 – Tooth Thickness Specification and Measurement.

FOLGA INICIAL NO DENTADO (FOLGA DE PROJETO)

Tabela 1

A tabela ao lado nos da informações de escolha dos valores do Afastamento inferior da espessura do dente e a Tolerância da espessura do mesmo.



Aplicação	Afastamento inferior da espessura do dente (Asne)	Tolerância da espessura do dente (Tsn)
Redutores reversíveis	c ... e	24 ... 26
Redutores de máquinas pesadas reversíveis	c ... e	24 - 25
Redutores não reversíveis	bc	26
Redutores de máquinas pesadas não reversíveis	bc	26
Coroa para giro de convertedores de aciaria	bc	26
Turbo redutores com diferença de temperatura óleo / carcaça de 70º K	ab	25
Redutores para locomotivas	cd	25
Redutores para tesouras siderúrgicas e mecanismos de translação	e	25
Redutores para tratores agrícolas, ceifadeiras e debulhadeiras	e	27 – 28
Redutores para máquinas de estamparia	g	24
Redutores para máquinas operatrizes	f	24 – 25
Redutores para laminadores	f	24
Caixas de marchas para veículos automotres	d	26
Engrenagens para instrumentos de medição	g	22
Prensas de impressão	f-g	24
Injetoras	c-cd	25

Afastamento inferior da espessura do dente

Diâmetro Primitivo (mm)		Asne (microns)									
Acima de	Até (inclusive)	a	ab	b	bc	c	cd	d	e	f	g
	10	100	85	70	58	48	40	33	22	10	5
10	50	135	110	95	75	65	54	44	30	14	7
50	125	180	150	125	105	85	70	60	40	19	9
125	280	250	200	170	140	115	95	80	56	25	12
280	560	330	280	230	190	155	130	110	75	35	17
560	1000	450	370	310	260	210	175	145	100	48	22
1000	1600	600	500	420	340	290	240	200	135	64	30
1600	2500	820	680	560	460	390	320	270	180	85	41
2500	4000	1100	920	760	620	520	430	360	250	115	56
4000	6300	1500	1250	1020	840	700	580	480	330	155	75
6300		2000	1650	1350	1150	940	780	640	450	210	100

Tabela 2

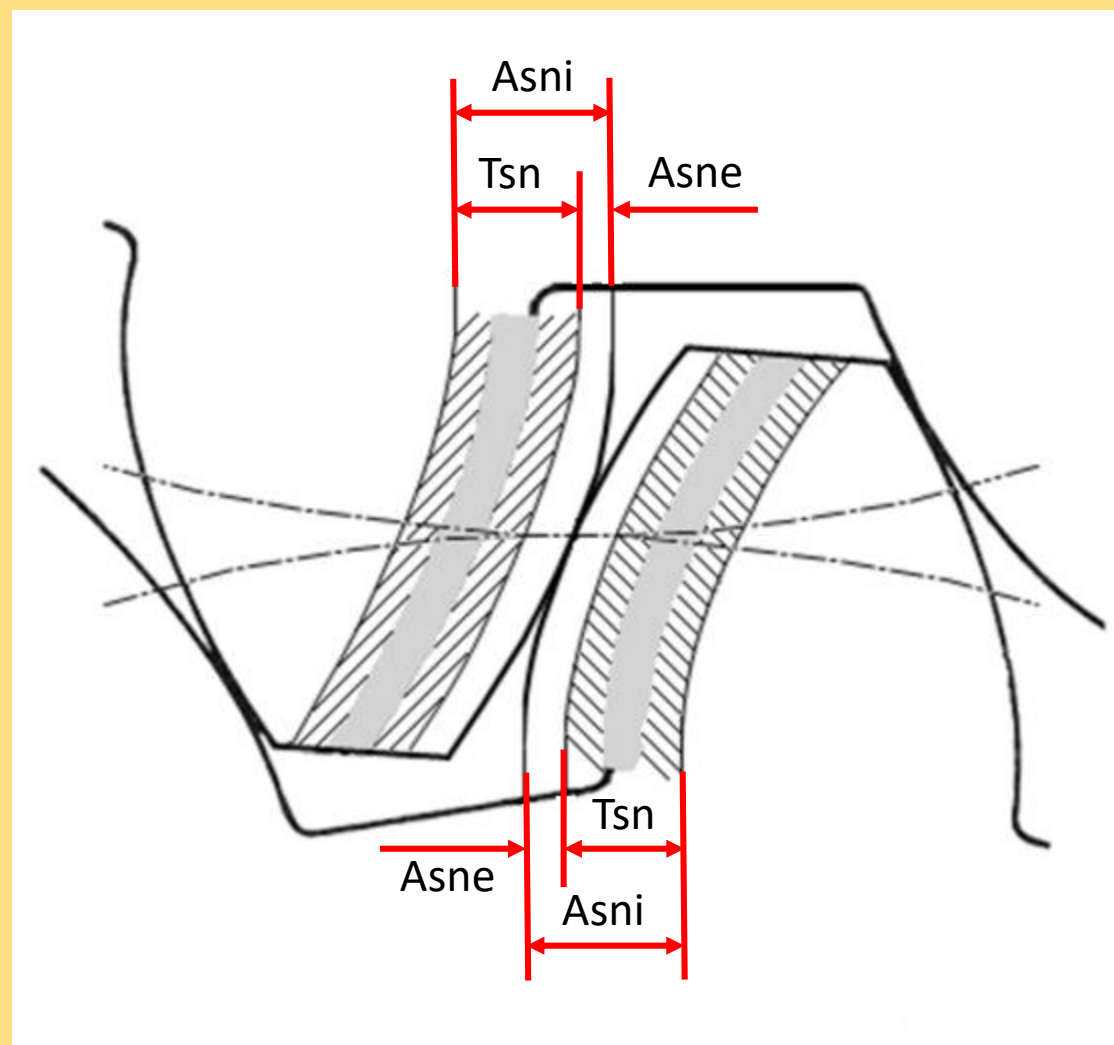
Tolerância da espessura do dente

Diâmetro Primitivo (mm)		Tsn (microns)									
Acima de	Até (inclusive)	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	10	3	5	8	12	20	30	50	80	30	200
10	50	5	8	12	20	30	50	80	130	200	300
50	125	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400
125	280	8	12	20	30	50	80	130	200	300	500
280	560	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600
560	1000	12	20	30	50	80	130	200	300	500	800
1000	1600	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000
1600	2500	20	30	50	80	130	200	300	500	800	1300
2500	4000	25	40	60	100	160	250	400	600	1000	1600
4000	6300	30	50	80	130	200	300	500	800	1300	2000
6300		40	60	100	160	250	400	600	1000	1600	2400

Tabela 3

DIN 3967

FOLGA NOS DENTES E BACKLASH



TOLERÂNCIA NA DISTÂNCIA ENTRE CENTROS

Tabela 4

Desvio da distância entre centros Conforme Niemann	
Turboredutores	js6
Injetoras	js7
Locomotivas	js7
Redutores em geral (leves ou pesados) não reversíveis	js7
Redutores em geral (leves ou pesados) reversíveis	js6 - js7
Automóveis	js7
Veículos agrícolas	js8
Máquinas operatrizes	js6
Máquinas de impressão	js6
Instrumentos de medição	js5

Acima de	3	6	10	18	30	40	50	65	80	100	120	140	160	180	200	225	250	280	315	355
Até inclusive	6	10	18	30	40	50	65	80	100	120	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400
js5	+2.5	3	4	+4.5	+5.5	+6.5	+7.5	9		+10		+11.5		+12.5						
	-2.5	-3	-4	-4.5	-5.5	-6.5	-7.5	-9		-10		-11.5		-12.5						
js6	4	+4.5	+5.5	+6.5	+8	+9.5	11	+12.5		+14.5		+16		18						
	-4	-4.5	-5.5	-6.5	-8	-9.5	-11	-12.5		-14.5		-16		-18						
js7	6	+7.5	9	+10.5	+12.5	+15	+17.5	20		+23		+26		+28.5						
	-6	-7.5	-9	-10.5	-12.5	-15	-17.5	-20		-23		-26		-28.5						

Tabela 5

CÁLCULO DO BACKLASH

Backlash ao longo do diâmetro primitivo (j_t)

- Devido afastamento inferior da espessura do dente
- Devido afastamento superior da espessura do dente
- Devido a tolerância da distância entre centros
- Total $j_{t\text{mínimo}} = j_{t1} + j_{t3}$ Com Δ_{cc} negativo

$$j_{t\text{máximo}} = j_{t2} + j_{t3} \quad \text{Com } \Delta_{cc} \text{ positivo}$$

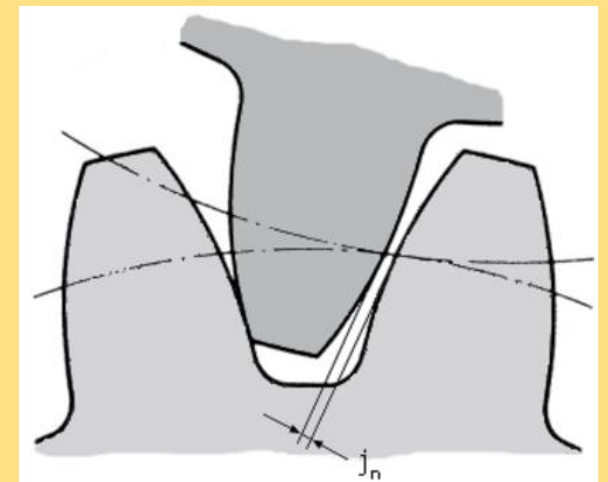
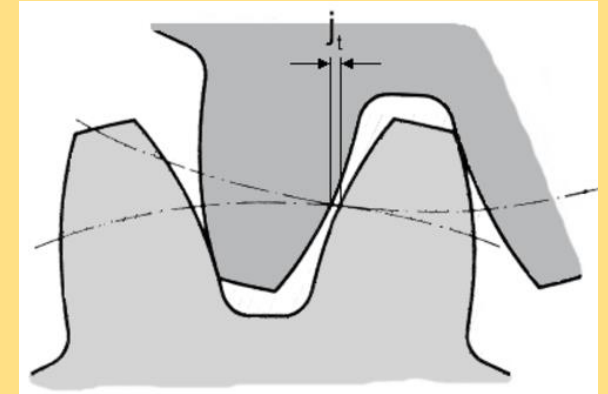
Backlash ao longo da linha de contato

$$j_n = j_t \cdot \cos \alpha_n \cdot \cos \beta$$

$$j_{t1} = \frac{(A_{sne1} + A_{sne2})}{1000 \cdot \cos \beta}$$

$$j_{t2} = \frac{(A_{sni1} + A_{sni2})}{1000 \cdot \cos \beta}$$

$$j_{t3} = \frac{2 \cdot \Delta_{cc} \cdot \text{tg} \alpha_n}{\cos \beta}$$



EXEMPLO DE CÁLCULO

Dados:

Módulo: $m = 10 \text{ mm}$

Número de dentes:

- Pinhão $Z_1 = 18$
- Coroa $Z_2 = 62$

Redutor reversível

Ângulo de pressão $\alpha_n = 20 \text{ graus}$

Dentes retos ($\beta = 0$)

Qualidade das engrenagens DIN 6

Engrenagens sem correção ($x = 0$)

Diâmetro primitivo

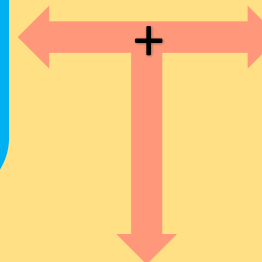
$$d_0 = \frac{m_n \times Z}{\cos(\beta)} \quad d_{01} = \frac{10 \times 18}{\cos(0)} = 180 \text{ mm} \quad d_{02} = \frac{10 \times 62}{\cos(0)} = 620 \text{ mm}$$

Afastamento inferior da espessura do dente

Da tabela 2 temos:
Asne1 = 95 microns
Asne2 = 175 microns

Tolerância da espessura do dente

Da tabela 3 temos:
Tsn1 = 50 microns
Tsn2 = 80 microns



Afastamento superior da espessura do dente

$Asni = Asne + Tsn$
Asni1 = 145 microns
Asni2 = 255 microns

Definição dos campos das tolerâncias

Da tabela 1, para redutores reversíveis, vamos adotar o valor cd25

Da tabela 4 – js6

VERIFICAÇÕES OBRIGATÓRIAS

Enfraquecimento excessivo do dente quanto a ruptura.

A adoção dessas zonas de tolerância, que atendem as exigências de fabricação, significa que a espessura dos dentes não são inaceitavelmente enfraquecidos pois:

$$\frac{\text{maior } Asni}{\text{módulo}} = \frac{0,255}{10} = 0,0255 < 0,05 \text{ OK}$$

$$T_{sn1} = 50 \text{ microns}$$

$$T_{sn2} = 80 \text{ microns}$$

Verificação dos valores das tolerância da espessura do dente (T_{sn}) com relação ao máximo valor de flutuação da espessura do dente definido pelo norma DIN 3962-Parte 1

$$R_{s1} = 18 \quad R_{s2} = 22 \quad (\text{Ver tabela na página seguinte})$$


Condição a ser satisfeita

$$2 \times R_s \leq T_{sn} \quad 2 \times R_{s1} = 36 \leq 50 \text{ OK} \quad 2 \times R_{s2} = 44 \leq 80 \text{ OK}$$

Page 8 DIN 3962 Part 1

Normal module from 6 to 10 mm

$m_n > 6$ até $m_n \leq 10$



Gear tooth quality	$F_{p z/8}$						Deviation F_r						R_s					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
over 10 to 50	3	4	6	8	11	16	3,5	5,5	8	11	16	22	2,5	3,5	5	7	9	14
over 50 to 125	4	5	7	10	14	20	4,5	6	9	12	18	25	3	4	5,5	8	11	16
over 125 to 280	4,5	6	8	12	16	22	5	7	10	14	20	28	3,5	4,5	6	9	12	18
over 280 to 560	5	7	10	14	18	28	5,5	8	11	16	22	32	3,5	5	7	10	14	20
over 560 to 1000	6	8	11	16	20	28	6	9	12	18	25	36	4	5,5	8	11	16	22
over 1000 to 1600	6	9	12	18	22	32	7	10	14	20	28	40	4,5	6	9	12	18	25
over 1600 to 2500	7	9	14	20	25	36	8	11	16	22	32	45	5	7	10	14	18	25
over 2500 to 4000	7	10	14	20	28	40	8	12	16	22	32	45	5,5	7	10	14	20	28
over 4000 to 6300	8	11	16	22	32	45	9	12	18	25	36	50	5,5	7	11	14	22	28
over 6300 to 10000	9	12	18	25	32	50	10	14	20	28	40	56	6	8	12	16	22	32

Backlash ao longo do diâmetro primitivo (j_t)

- Devido afastamento inferior da espessura do dente $j_{t1} = \frac{(A_{sne1} + A_{sne2})}{1000 \cdot \cos \beta} = \frac{95 + 175}{1000 \cdot \cos 0} = 0,270 \text{ mm}$
- Devido afastamento superior da espessura do dente $j_{t2} = \frac{(A_{sni1} + A_{sni2})}{1000 \cdot \cos \beta} = \frac{145 + 255}{1000 \cdot \cos 0} = 0,400 \text{ mm}$
- Devido a tolerância da distância entre centros $a = \frac{m_n(Z_1 + Z_2)}{2 \cdot \cos \beta} = \frac{10(18 + 62)}{2 \cdot \cos 0} = 400 \text{ mm}$ $\Delta_{cc1} = -0,018 \text{ mm}$ $\Delta_{cc2} = 0,018 \text{ mm}$
 $j_{t3.1} = \frac{2 \cdot \Delta_{cc} \cdot \text{tg} \alpha_n}{\cos \beta} = \frac{2 \cdot (-0,018) \cdot \text{tg} 20}{\cos 0} = -0,013 \text{ mm}$ $j_{t3.2} = \frac{2 \cdot \Delta_{cc} \cdot \text{tg} \alpha_n}{\cos \beta} = \frac{2 \cdot 0,018 \cdot \text{tg} 20}{\cos 0} = 0,013 \text{ mm}$
- Total $j_{t\text{mínimo}} = j_{t1} + j_{t3.1} = 0,270 + (-0,013) = 0,257 \text{ mm}$
 $j_{t\text{máximo}} = j_{t2} + j_{t3.2} = 0,400 + 0,013 = 0,413 \text{ mm}$

Backlash ao longo da linha de contato

$$j_{n\text{mínimo}} = j_{t\text{mínimo}} \cdot \cos \alpha_n \cdot \cos \beta = 0,257 \cdot \cos 20 \cdot \cos 0 = 0,241 \text{ mm}$$

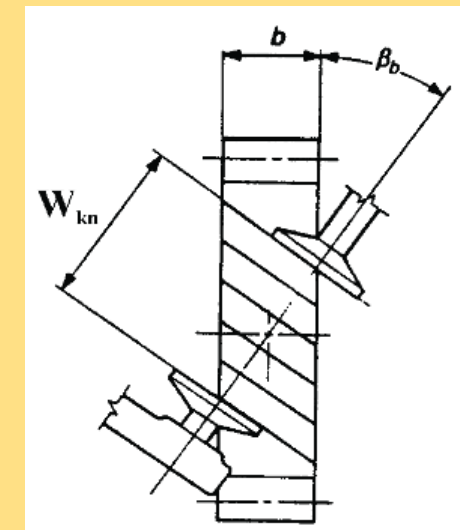
$$j_{n\text{máximo}} = j_{t\text{máximo}} \cdot \cos \alpha_n \cdot \cos \beta = 0,413 \cdot \cos 20 \cdot \cos 0 = 0,388 \text{ mm}$$

COMO VERIFICAR A ESPESSURA DOS DENTES DAS ENGRENAGENS

O sistema de ajustes refere-se a um valor teórico.

Os valores calculados referem-se a espessura do dente na secção normal que, no entanto, não é diretamente mensurável. A norma DIN 3960 mostra vários métodos indiretos para esta medição.

VERIFICAÇÃO DA ESPESSURA DOS DENTES DAS ENGRENAGENS POR MEIO DE MICROMETRO DE DISCO, CONHECIDA COMO MEDIDA W



MEDIDA DE CONTROLE W

Número virtual de dentes $Z_v = \frac{Z}{(\cos \beta)^3}$

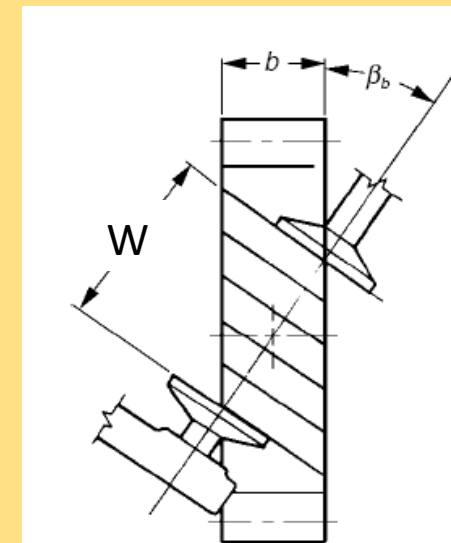
Número de dentes para medir W $Z_{wcal} = 0,5 + \frac{\alpha_n \times Z_v}{\pi} - \frac{(Z_v + 2 \times x) \operatorname{tg} \alpha_n}{\pi} + \frac{Z_v}{\pi} \sqrt{(\operatorname{tg} \alpha_n)^2 + \frac{4 \times x}{Z_v \times \cos \alpha_n} \left(1 + \frac{x}{Z_v}\right)}$
Arredondar o valor para o inteiro mais próximo

$$W = m_n \times \cos \alpha_n \left[(Z_w - 0,5) \pi + Z \times \operatorname{ev} \alpha_t \right] + 2 \times m_n \times x \times \operatorname{sen} \alpha_n$$

Largura mínima para que seja possível medir W $b_{\min} = W \times \operatorname{sen} \beta_b + \Delta b$

Normalmente adota-se Δb igual ou maior que 3 mm

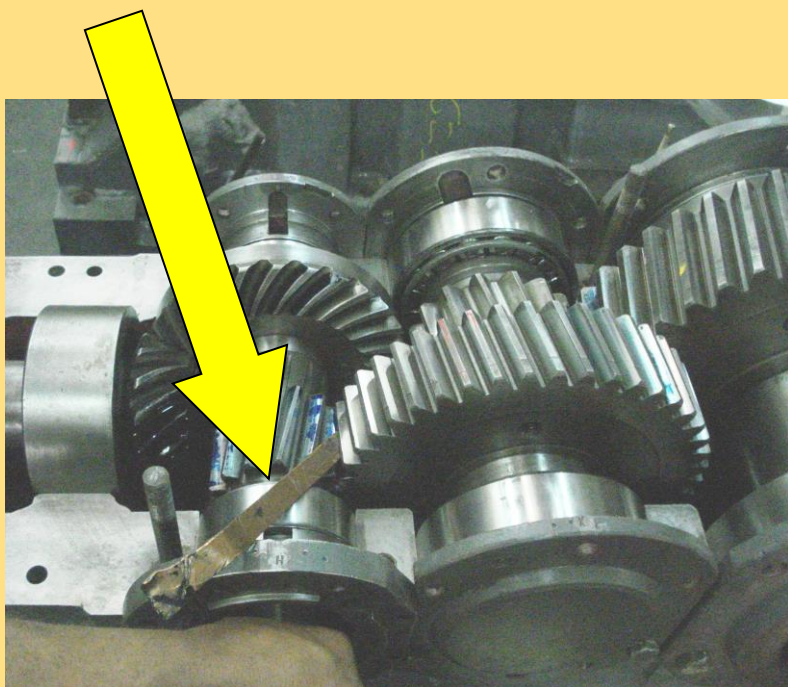
$$\beta_b = \operatorname{arctg}(\operatorname{tg} \beta \times \cos \alpha_n)$$



EXEMPLO DE COMO PODE SER MEDIDA A FOLGA

Travar os pares de engrenagem que não estão sendo medidos.

Trava



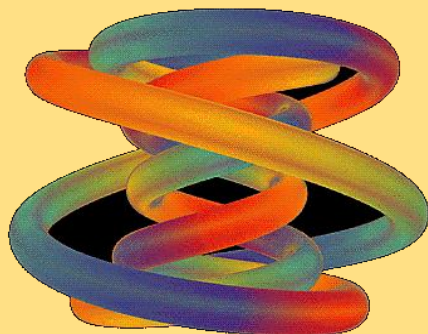
Posicionar o relógio comparador em um dente da engrenagem, fazer o giro da coroa para o lado contrário do relógio, zerar o mesmo e girar no sentido da pressão no relógio até que o pinhão se mova. O valor indicado pelo relógio é igual a folga do par de engrenagens.





PERGUNTAS

Fim



Fresadora SANT'ANA
Engrenagens e Redutores
FABRICAÇÃO DE ENGRENAGENS
REFORMA E REPOTENCIAMENTO DE
REDUTORES E CABEÇOTES DE SONDAS
PROJETO E FABRICAÇÃO DE REDUTORES
ESPECIAIS

**Consultor Técnico de
Vendas Internacionais**

Eng. Roberto Perracini

Rua Fradique Coutinho, 1612
São Paulo – S.P. Brasil
CEP 05416-002
+55 11 3815-6113
+55 11 98540-0421

Representantes no Peru

Víctor Costilla Q.
Teléfonos: 401 0576 | RPC: 997369476 |
RPM: #976176907
E-mail: victor.costilla@fresadorasantana.com.br

Carlos Yzú Zaconett
Teléfono: + 51 9422 70835
E-mail: carlos.yzu@fresadorasantana.com.br