

## DADOS DE ENTRADA

Módulo normal:  $m_n := 4 \text{ mm}$

Número de dentes do pinhão:  $Z_1 := 16$

Número de dentes da coroa  $Z_2 := 65$

Ângulo de pressão normal  $\alpha_n := 20 \text{ deg}$

Ângulo de hélice:  $\beta := 12 \text{ deg}$

Adendo  $h_a := 1$

Dedendo  $h_d := 1.25$

Entre centros de trabalho  $a_w := 168 \text{ mm}$

## CÁLCULOS

Redução  $u := \frac{Z_2}{Z_1} = 4.063$

Entre centros sem correção  $a := \frac{m_n \cdot (Z_1 + Z_2)}{2 \cdot \cos(\beta)} = 165.619 \text{ mm}$

Módulo transversal  $m_t := \frac{m_n}{\cos(\beta)} = 4.089 \text{ mm}$

Ângulo de pressão transversal  $\alpha_t := \text{atan}\left(\frac{\tan(\alpha_n)}{\cos(\beta)}\right) = 20.41031 \text{ deg}$

Ângulo de pressão transversal de trabalho  $\alpha_{tw} := \text{acos}\left(\frac{m_t \cdot (Z_2 + Z_1) \cdot \cos(\alpha_t)}{2 \cdot a_w}\right) = 22.49134 \text{ deg}$

Evolvente do ângulo de pressão normal  $ev\alpha_n := \tan(\alpha_n) - \alpha_n = 0.014904$

Evolvente do ângulo de pressão transversal  $ev\alpha_t := \tan(\alpha_t) - \alpha_t = 0.015874$

Evolvente do ângulo de pressão transversal de trabalho  $ev\alpha_{tw} := \tan(\alpha_{tw}) - \alpha_{tw} = 0.021489$

No cálculo da evolvente os ângulos devem ser em radianos

Ângulo de hélice no diâmetro de base  $\beta_b := \text{atan}(\tan(\beta) \cdot \cos(\alpha_t)) = 11.26652 \text{ deg}$

Passo normal  $p_n := \pi \cdot m_n = 12.566 \text{ mm}$

Passo transversal  $p_t := \pi \cdot m_t = 12.847 \text{ mm}$

Soma das correções  $\Sigma x := \frac{ev\alpha_{tw} - ev\alpha_t}{2 \cdot \tan(\alpha_n)} \cdot (Z_2 + Z_1) = 0.6247$

Método BSI—BS PD 6457 para definir o valor de  $x_1$

$x_1$  para casos gerais

$$x_{1a} := \frac{1}{3} \cdot \left(1 - \frac{1}{u}\right) + \frac{\Sigma x}{1 + u} = 0.3747$$

$x_1$  para um equilíbrio aproximado das razões de deslizamento específico

$$Z_{v1} := \frac{Z_1}{\cos(\beta_b)^2 \cdot \cos(\beta)} = 17.007$$

$$x_{1b} := \frac{1}{\sqrt[2]{Z_{v1}}} \cdot \left(1 - \frac{1}{u}\right) + \frac{\Sigma x}{1 + u} = 0.3062$$

$x_1$  para garantir a igualdade aproximada dos fatores de resistência à flexão dos dentes

$$x_{1c} := \frac{1}{2} \cdot \left(1 - \frac{1}{u}\right) + \frac{\Sigma x}{1 + u} = 0.5003$$

Método ISO/TR 4467 para definir o valor de  $x_1$

$\lambda$  é um valor que deve estar na faixa de  $0.50 \leq \lambda \leq 0.75$

Para  $\lambda_1 := 0.50$

$$x_{1d} := \lambda_1 \cdot \left(\frac{u-1}{u+1}\right) + \frac{\Sigma x}{u+1} = 0.4259$$

Para  $\lambda_2 := 0.75$

$$x_{1e} := \lambda_2 \cdot \left(\frac{u-1}{u+1}\right) + \frac{\Sigma x}{u+1} = 0.5771$$

Obs: se  $u > 5$  usar  $u = 5$

$x_1$  mínimo para evitar undercut

$$x_{1\text{mínimo}} := 1 - \left(\frac{Z_1 \cdot (\sin(\alpha_t))^2}{2 \cdot \cos(\beta)}\right) = 0.0053$$

Vamos adotar o valor de  $x_1 := 0.4000$

Com isto podemos calcular  $X_2$  (correção da coroa)  $x_2 := \Sigma x - x_1 = 0.2247$

Coefficiente de rebaixamento do dente  $k_1 := \frac{a_w - a}{m_n} - \Sigma x = -0.0295$  se  $k_1 < 0$   $k := 0$

### Diâmetro primitivo

Pinhão  $d_1 := m_n \cdot \frac{Z_1}{\cos(\beta)} = 65.430 \text{ mm}$

Coroa  $d_2 := m_n \cdot \frac{Z_2}{\cos(\beta)} = 265.809 \text{ mm}$

### Tolerâncias da espessura dos dentes

A norma DIN 3967 define os valores de  $Asne$  e  $Tsn$ .

Para um redutor reversível o livro do Niemann recomenda que se utilize os valores de  $Asne$  c...e e para o  $Tsn$  25...24

Neste exemplo vamos adotar o valor de 25cd.

Da norma DIN acima temos:

Pinhão  $Asne_1 := -70 \text{ }\mu\text{m}$   $Tsn_1 := 40 \text{ }\mu\text{m}$   $Asni_1 := Asne_1 - Tsn_1 = -110 \text{ }\mu\text{m}$

Coroa  $Asne_2 := -95 \text{ }\mu\text{m}$   $Tsn_2 := 50 \text{ }\mu\text{m}$   $Asni_2 := Asne_2 - Tsn_2 = -145 \text{ }\mu\text{m}$

### Espessuras no diâmetro primitivo

Pinhão

Nominal  $s_{n1} := \frac{p_n}{2} + 2 \cdot x_1 \cdot m_n \cdot \tan(\alpha_n) = 7.448 \text{ mm}$

Máxima  $s_{n1max} := s_{n1} + Asne_1 = 7.378 \text{ mm}$

Mínima  $s_{n1min} := s_{n1} + Asni_1 = 7.338 \text{ mm}$

Coroa

Nominal  $s_{n2} := \frac{p_n}{2} + 2 \cdot x_2 \cdot m_n \cdot \tan(\alpha_n) = 6.937 \text{ mm}$

Máxima  $s_{n2max} := s_{n2} + Asne_2 = 6.842 \text{ mm}$

Mínima  $s_{n2min} := s_{n2} + Asni_2 = 6.792 \text{ mm}$

### Correções para obter os valores das espessuras mínima e máxima

Pinhão

Correção máxima  $x_{1max} := \frac{2 \cdot s_{n1max} - p_n}{4 \cdot m_n \cdot \tan(\alpha_n)} = 0.37596$

Correção mínima 
$$x_{1min} := \frac{2 \cdot s_{n1min} - p_n}{4 \cdot m_n \cdot \tan(\alpha_n)} = 0.36222$$

Coroa

Correção máxima 
$$x_{2max} := \frac{2 \cdot s_{n2max} - p_n}{4 \cdot m_n \cdot \tan(\alpha_n)} = 0.19208$$

Correção mínima 
$$x_{2min} := \frac{2 \cdot s_{n2min} - p_n}{4 \cdot m_n \cdot \tan(\alpha_n)} = 0.17490$$

## Diâmetros

Cabeça - Pinhão

Nominal 
$$d_{a1} := d_1 + 2 \cdot m_n \cdot (h_a + x_1 + k) = 76.630 \text{ mm}$$

Tolerância h8

Cabeça - Coroa

Nominal 
$$d_{a2} := d_2 + 2 \cdot m_n \cdot (h_a + x_2 + k) = 275.606 \text{ mm}$$

Máximo 
$$d_{a2max} := d_2 + 2 \cdot m_n \cdot (h_a + x_{2max} + k) = 275.345 \text{ mm}$$

Mínimo 
$$d_{a2min} := d_2 + 2 \cdot m_n \cdot (h_a + x_{2min} + k) = 275.208 \text{ mm}$$

Fundo - Pinhão

Nominal 
$$d_{f1} := d_1 - 2 \cdot m_n \cdot (h_d - x_1) = 58.630 \text{ mm}$$

Máximo 
$$d_{f1max} := d_1 - 2 \cdot m_n \cdot (h_d - x_{1max}) = 58.437 \text{ mm}$$

Mínimo 
$$d_{f1min} := d_1 - 2 \cdot m_n \cdot (h_d - x_{1min}) = 58.328 \text{ mm}$$

Fundo - Coroa

Nominal 
$$d_{f2} := d_2 - 2 \cdot m_n \cdot (h_d - x_2) = 257.606 \text{ mm}$$

Máximo 
$$d_{f2max} := d_2 - 2 \cdot m_n \cdot (h_d - x_{2max}) = 257.345 \text{ mm}$$

Mínimo 
$$d_{f2min} := d_2 - 2 \cdot m_n \cdot (h_d - x_{2min}) = 257.208 \text{ mm}$$

Base - Pinhão  $d_{b1} := d_1 \cdot \cos(\alpha_t) = 61.322 \text{ mm}$

Base - Coroa  $d_{b2} := d_2 \cdot \cos(\alpha_t) = 249.121 \text{ mm}$

Trabalho - Pinhão  $d_{w1} := \frac{2 \cdot a_w}{\frac{Z_2}{Z_1} + 1} = 66.370 \text{ mm}$

Trabalho - Coroa  $d_{w2} := 2 \cdot a_w - d_{w1} = 269.630 \text{ mm}$

### Verificação de dente pontudo

A espessura na cabeça do dente deve ser no mínimo =  $0,2 \times m_n$  para engrenagens sem tratamento e =  $0,4 \times m_n$  para engrenagens temperadas

#### Pinhão

Ângulo de pressão na cabeça do dente  $\alpha_{a1} := \arccos\left(\frac{d_1}{d_{a1}} \cdot \cos(\alpha_n)\right) = 0.639575 \text{ rad}$

Evolvente do ângulo de pressão na cabeça do dente  $ev\alpha_{a1} := \tan(\alpha_{a1}) - \alpha_{a1} = 0.104308$

Espessura na cabeça  $s_{a1} := d_{a1} \cdot \sin\left(\frac{\pi + 4 \cdot x_1 \cdot \tan(\alpha_n)}{2 \cdot Z_1} + ev\alpha_n - ev\alpha_{a1}\right) = 2.066 \text{ mm}$

Supondo que seja uma engrenagem temperada,  $s_{a1\text{mínimo}} := 0.4 \cdot m_n = 1.6 \text{ mm}$   
portanto a espessura  $s_{a1} = 2.066 \text{ mm}$  atende.

#### Coroa

Ângulo de pressão na cabeça do dente  $\alpha_{a2} := \arccos\left(\frac{d_2}{d_{a2}} \cdot \cos(\alpha_n)\right) = 0.436381 \text{ rad}$

Evolvente do ângulo de pressão na cabeça do dente  $ev\alpha_{a2} := \tan(\alpha_{a2}) - \alpha_{a2} = 0.029986$

Espessura na cabeça  $s_{a2} := d_{a2} \cdot \sin\left(\frac{\pi + 4 \cdot x_2 \cdot \tan(\alpha_n)}{2 \cdot Z_2} + ev\alpha_n - ev\alpha_{a2}\right) = 3.197 \text{ mm}$

Supondo que seja uma engrenagem temperada,  $s_{a2\text{mínimo}} := 0.4 \cdot m_n = 1.6 \text{ mm}$   
portanto a espessura  $s_{a2} = 3.197 \text{ mm}$  atende.

## Número de dentes para a medida W

Pinhão

$$A_1 := 4 \cdot \frac{x_1}{Z_1} \cdot \cos(\beta) \cdot \left( 1 + \frac{x_1}{Z_1} \cdot \cos(\beta) \right) = 0.10021$$

$$B := (\tan(\alpha_n))^2 + (\cos(\beta))^2 = 1.08925$$

$$C := \cos(\beta) \cdot ((\sin(\alpha_n))^2 + (\cos(\beta))^2 \cdot (\cos(\alpha_n))^2) = 0.94081$$

$$D_1 := \frac{Z_1}{\pi} \cdot \tan(\alpha_t) + 2 \cdot \frac{x_1}{\pi} \cdot \tan(\alpha_n) = 1.98778$$

$$k'_1 := Z_1 \cdot \frac{\alpha_t}{\pi} + 0.5 + \frac{Z_1}{\pi} \cdot \frac{\sqrt{(\tan(\alpha_n))^2 + A_1 \cdot B}}{C} - D_1 = 2.987$$

$$k''_1 := k'_1 + 0.5 = 3.487 \quad kw_1 := \text{trunc}(k''_1) = 3$$

Coroa

$$A_2 := 4 \cdot \frac{x_2}{Z_2} \cdot \cos(\beta) \cdot \left( 1 + \frac{x_2}{Z_2} \cdot \cos(\beta) \right) = 0.01357$$

$$D_2 := \frac{Z_2}{\pi} \cdot \tan(\alpha_t) + 2 \cdot \frac{x_2}{\pi} \cdot \tan(\alpha_n) = 7.7509$$

$$k'_2 := Z_2 \cdot \frac{\alpha_t}{\pi} + 0.5 + \frac{Z_2}{\pi} \cdot \frac{\sqrt{(\tan(\alpha_n))^2 + A_2 \cdot B}}{C} - D_2 = 8.559$$

$$k''_2 := k'_2 + 0.5 = 9.059 \quad kw_2 := \text{trunc}(k''_2) = 9$$

## Medida W

Pinhão

$$W_{nom1} := m_n \cdot \cos(\alpha_n) \cdot ((kw_1 - 0.5) \cdot \pi + Z_1 \cdot \text{ev}\alpha_t) + 2 \cdot m_n \cdot x_1 \cdot \sin(\alpha_n) = 31.570 \text{ mm}$$

$$W_{x_{max}1} := m_n \cdot \cos(\alpha_n) \cdot ((kw_1 - 0.5) \cdot \pi + Z_1 \cdot \text{ev}\alpha_t) + 2 \cdot m_n \cdot x_{1max} \cdot \sin(\alpha_n) = 31.505 \text{ mm}$$

$$W_{x_{min}1} := m_n \cdot \cos(\alpha_n) \cdot ((kw_1 - 0.5) \cdot \pi + Z_1 \cdot \text{ev}\alpha_t) + 2 \cdot m_n \cdot x_{1min} \cdot \sin(\alpha_n) = 31.467 \text{ mm}$$

### Coroa

$$W_{nom2} := m_n \cdot \cos(\alpha_n) \cdot ((kw_2 - 0.5) \cdot \pi + Z_2 \cdot ev\alpha_t) + 2 \cdot m_n \cdot x_2 \cdot \sin(\alpha_n) = 104.866 \text{ mm}$$

$$W_{x_{max}2} := m_n \cdot \cos(\alpha_n) \cdot ((kw_2 - 0.5) \cdot \pi + Z_2 \cdot ev\alpha_t) + 2 \cdot m_n \cdot x_{2max} \cdot \sin(\alpha_n) = 104.776 \text{ mm}$$

$$W_{x_{min}2} := m_n \cdot \cos(\alpha_n) \cdot ((kw_2 - 0.5) \cdot \pi + Z_2 \cdot ev\alpha_t) + 2 \cdot m_n \cdot x_{2min} \cdot \sin(\alpha_n) = 104.729 \text{ mm}$$

### Diâmetro da esfera para medida M

#### Pinhão

$$Z_{nW1} := Z_1 \cdot \frac{ev\alpha_t}{ev\alpha_n} = 17.041$$

$$\beta_{v1} := \operatorname{atan}\left(\frac{Z_1 + 2 \cdot x_1 \cdot \cos(\beta)}{Z_1} \cdot \tan(\beta)\right) = 0.21936 \text{ rad}$$

$$\alpha_{vn1} := \operatorname{acos}\left(\frac{\cos(\alpha_n) \cdot \cos(\beta)}{\cos(\beta_{v1}) \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{x_1}{Z_1} \cdot \cos(\beta)\right)}\right) = 0.45601 \text{ rad}$$

$$k_{DM1} := \frac{Z_{nW1}}{\pi} \cdot \left(\tan(\alpha_{vn1}) - 2 \cdot \frac{x_1}{Z_{nW1}} \cdot \tan(\alpha_n) - ev\alpha_n\right) + 0.5 = 2.9871$$

$$\alpha_{kn1} := \frac{k_{DM1}}{Z_{nW1}} \cdot \pi = 0.55068 \text{ rad}$$

$$D_{M1} := Z_{nW1} \cdot m_n \cdot \cos(\alpha_n) \cdot (\tan(\alpha_{kn1}) - \tan(\alpha_{vn1})) = 7.914 \text{ mm}$$

$$D_{M1adotado} := 8 \text{ mm}$$

#### Coroa

$$Z_{nW2} := Z_2 \cdot \frac{ev\alpha_t}{ev\alpha_n} = 69.23$$

$$\beta_{v2} := \operatorname{atan}\left(\frac{Z_2 + 2 \cdot x_2 \cdot \cos(\beta)}{Z_2} \cdot \tan(\beta)\right) = 0.21081 \text{ rad}$$

$$\alpha_{vn2} := \operatorname{acos}\left(\frac{\cos(\alpha_n) \cdot \cos(\beta)}{\cos(\beta_{v2}) \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{x_2}{Z_2} \cdot \cos(\beta)\right)}\right) = 0.36631 \text{ rad}$$

$$k_{DM2} := \frac{Z_{nW2}}{\pi} \cdot \left(\tan(\alpha_{vn2}) - 2 \cdot \frac{x_2}{Z_{nW2}} \cdot \tan(\alpha_n) - ev\alpha_n\right) + 0.5 = 8.5734$$

$$\alpha_{kn2} := \frac{k_{DM2}}{Z_{nW2}} \cdot \pi = 0.38905 \text{ rad}$$

$$D_{M2} := Z_{nW2} \cdot m_n \cdot \cos(\alpha_n) \cdot (\tan(\alpha_{kn2}) - \tan(\alpha_{vn2})) = 6.848 \text{ mm}$$

$$D_{M2adotado} := 7 \text{ mm}$$

## Medida M

Pinhão - nominal

$$A_{nominal1} := \frac{s_{n1}}{d_1 \cdot \cos(\beta)} = 0.116373$$

$$inv\alpha_{ktnominal1} := A_{nominal1} + \frac{D_{M1adotado}}{d_{b1} \cdot \cos(\beta_b)} + ev\alpha_t - \frac{\pi}{Z_1} = 0.068920$$

Função auxiliar para calculo do ângulo dada a evolvente

$$aprox1 := 0.0001$$

$$step1 := 0.001$$

$$aprox2 := 0.000001$$

$$step2 := 0.00001$$

$$aprox3 := 0.000000001$$

$$step3 := 0.00000001$$

$$aprox4 := 0.000000000001$$

$$step4 := 0.00000000001$$

$$aprox5 := 0.0000000000000001 \quad step5 := 0.0000000000000001$$

$$g(ev\alpha p) := \left\| \begin{array}{l} \alpha_{proc1} \leftarrow 0.1 \\ \text{while } \tan(\alpha_{proc1}) - \alpha_{proc1} - ev\alpha p \leq aprox1 \\ \quad \left\| \alpha_{proc1} \leftarrow \alpha_{proc1} + step1 \right\| \\ \alpha_{proc2} \leftarrow \alpha_{proc1} - 0.01 \\ \text{while } \tan(\alpha_{proc2}) - \alpha_{proc2} - ev\alpha p \leq aprox2 \\ \quad \left\| \alpha_{proc2} \leftarrow \alpha_{proc2} + step2 \right\| \\ \alpha_{proc3} \leftarrow \alpha_{proc2} - 0.0001 \\ \text{while } \tan(\alpha_{proc3}) - \alpha_{proc3} - ev\alpha p \leq aprox3 \\ \quad \left\| \alpha_{proc3} \leftarrow \alpha_{proc3} + step3 \right\| \\ \alpha_{proc4} \leftarrow \alpha_{proc3} - 0.0000001 \\ \text{while } \tan(\alpha_{proc4}) - \alpha_{proc4} - ev\alpha p \leq aprox4 \\ \quad \left\| \alpha_{proc4} \leftarrow \alpha_{proc4} + step4 \right\| \\ \alpha_{proc5} \leftarrow \alpha_{proc4} - 0.0000000001 \\ \text{while } \tan(\alpha_{proc5}) - \alpha_{proc5} - ev\alpha p \leq aprox5 - 0.0000000000000001 \\ \quad \left\| \alpha_{proc5} \leftarrow \alpha_{proc5} + step5 \right\| \end{array} \right\|$$

$$\alpha_{ktnominal1} := g(inv\alpha_{ktnominal1}) = 0.56496 \text{ rad} \quad \alpha_{ktnominal1} = 32.36977 \text{ deg}$$



$$C_{nominal1} := \frac{d_{b1}}{2 \cdot \cos(\alpha_{ktnominal1})} = 36.302 \text{ mm}$$

Como o número de dentes é par temos:

$$M_{dnom1} := 2 \cdot C_{nominal1} + D_{M1adotado} = 80.604 \text{ mm}$$

Pinhão - máxima

$$A_{máxima1} := \frac{s_{n1max}}{d_1 \cdot \cos(\beta)} = 0.115$$

$$inv\alpha_{ktmax1} := A_{máxima1} + \frac{D_{M1adotado}}{d_{b1} \cdot \cos(\beta_b)} + ev\alpha_t - \frac{\pi}{Z_1} = 0.06783$$

$$\alpha_{ktmáximo1} := g(inv\alpha_{ktmax1}) = 0.56222 \text{ rad}$$

$$C_{max1} := \frac{d_{b1}}{2 \cdot \cos(\alpha_{ktmáximo1})} = 36.239 \text{ mm}$$

Como o número de dentes é par temos:

$$M_{dmáx1} := 2 \cdot C_{max1} + D_{M1adotado} = 80.478 \text{ mm}$$

Pinhão - mínima

$$A_{mínima1} := \frac{s_{n1min}}{d_1 \cdot \cos(\beta)} = 0.115$$

$$inv\alpha_{ktmin1} := A_{mínima1} + \frac{D_{M1adotado}}{d_{b1} \cdot \cos(\beta_b)} + ev\alpha_t - \frac{\pi}{Z_1} = 0.0672$$

$$\alpha_{ktmínimo1} := g(inv\alpha_{ktmin1}) = 0.56064 \text{ rad}$$

$$C_{min1} := \frac{d_{b1}}{2 \cdot \cos(\alpha_{ktmínimo1})} = 36.203 \text{ mm}$$

Como o número de dentes é par temos:

$$M_{dmin1} := 2 \cdot C_{min1} + D_{M1adotado} = 80.406 \text{ mm}$$

Coroa - nominal

$$A_{nominal2} := \frac{s_{n2}}{d_2 \cdot \cos(\beta)} = 0.026683$$

$$inv\alpha_{ktnominal2} := A_{nominal2} + \frac{D_{M2adotado}}{d_{b2} \cdot \cos(\beta_b)} + ev\alpha_t - \frac{\pi}{Z_2} = 0.022876$$

$$\alpha_{ktnominal2} := g(inv\alpha_{ktnominal2}) = 0.40046 \text{ rad} \quad \alpha_{ktnominal2} = 22.94472 \text{ deg}$$

$$C_{nominal2} := \frac{d_{b2}}{2 \cdot \cos(\alpha_{ktnominal2})} = 135.262 \text{ mm}$$

Como o número de dentes é impar temos:

$$M_{dnom2} := 2 \cdot C_{nominal2} \cdot \cos\left(\frac{90}{Z_2} \cdot \frac{\pi}{180}\right) + D_{M2adotado} = 277.445 \text{ mm}$$

Coroa - máxima

$$A_{máxima2} := \frac{s_{n2max}}{d_2 \cdot \cos(\beta)} = 0.02632$$

$$inv\alpha_{ktmax2} := A_{máxima2} + \frac{D_{M2adotado}}{d_{b2} \cdot \cos(\beta_b)} + ev\alpha_t - \frac{\pi}{Z_2} = 0.02251$$

$$\alpha_{ktmáximo2} := g(inv\alpha_{ktmax2}) = 0.39841 \text{ rad}$$

$$C_{max2} := \frac{d_{b2}}{2 \cdot \cos(\alpha_{ktmáximo2})} = 135.145 \text{ mm}$$

Como o número de dentes é impar temos:

$$M_{dmáx2} := 2 \cdot C_{max2} \cdot \cos\left(\frac{90}{Z_2} \cdot \frac{\pi}{180}\right) + D_{M2adotado} = 277.211 \text{ mm}$$

Coroa - mínima

$$A_{mínima2} := \frac{s_{n2min}}{d_2 \cdot \cos(\beta)} = 0.026$$

$$inv\alpha_{ktmin2} := A_{mínima2} + \frac{D_{M2adotado}}{d_{b2} \cdot \cos(\beta_b)} + ev\alpha_t - \frac{\pi}{Z_2} = 0.02232$$

$$\alpha_{ktmínimo2} := g(inv\alpha_{ktmin2}) = 0.39732 \text{ rad}$$

$$C_{min2} := \frac{d_{b2}}{2 \cdot \cos(\alpha_{ktmínimo2})} = 135.083 \text{ mm}$$

Como o número de dentes é impar temos:

$$M_{dmin2} := 2 \cdot C_{min2} \cdot \cos\left(\frac{90}{Z_2} \cdot \frac{\pi}{180}\right) + D_{M2adotado} = 277.088 \text{ mm}$$