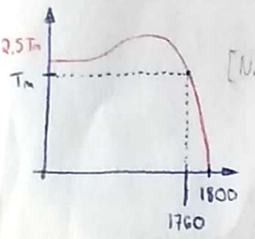
P2 - Elemaq 1

Choques em Eixos (K_o):

Acionamento \ Carga	Uniforme	Choque Leve	Choque Médio	Choque Pesado
Uniforme	1,0	1,25	1,50	1,75
Choque Leve	1,25	1,50	1,75	2,00
Choque Médio	1,50	1,75	2,00	2,50

Motor Elétrico:



Torque Nominal

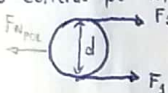
$$[N.m] \leftarrow T_m = \frac{P_{oT}\ [W]}{\omega\ [rad/s]} = \frac{Pot\ [W]}{[rpm]\ 2\pi/60}$$

$$[rad/s] \rightarrow \frac{2\pi\ [rpm]}{60}$$

Transforma p/ [Nmm] (x 1000)

Fontes de Carregamento em Eixos:

1- Correias por Atrito:



$$\begin{cases} (F_1 - F_2) \cdot \frac{d}{2} = T_m \cdot K_o \times \% \\ F_1/F_2 \approx e^{f\theta} \end{cases}$$

mm; Em [Nmm]

$F_{N_{POL}} = F_1 + F_2$

θ [rad] ⇝ ângulo de abraçamento

f ⇝ coef. de atrito (no exemplo, f = 0,4)

2- Correntes / Correias Dentadas

$$\begin{cases} (F_1 - F_2) \frac{d}{2} = T \times \% \\ F_2 \approx 0 \end{cases}$$

3- Engrenagens Cilíndricas de Dentes Retos:

- Módulo: $m = \frac{d_p}{z}$
- Largura de dente: $s = \frac{\pi m}{2}$
- N° de dentes: z
- Largura da engrenagem: $b = 10m$
- Passo no Primitivo: $\frac{\pi d}{z} = \pi m$
- Altura de cabeça: $h_a = 1m$
- Ângulo de Pressão: $\alpha = 20°$ ↳ Padrão p/ Elemaq I

$$\begin{cases} F_T = \frac{Pot}{\omega} \times \frac{K_o}{\left(\frac{m\,z}{2}\right) r} = \frac{2T}{m\,z} \\ F_N = F_T \operatorname{tg} \alpha \end{cases}$$

[Nmm] $T = T_m \cdot K_o \times \%_{TRANSMITIDO}$

Cálculo dos Torques:

↳ Torque Máximo em Operação: $T_{MÁX_{OP}} = \frac{Pot}{\omega} \cdot K_o = T_m \cdot K_o$

↳ Torque Máximo na Partida: $T_{MAX_{PART}} = T_m \cdot (2,5)$

↳ Torque Mínimo (p/ Fadiga): $T_{MIN} = T_m \times \underbrace{0,2}_{\text{Ou outra \% dada}}$

Cálculo para Fadiga (busca do diâmetro mínimo)

↳ Calcular $F_{N_{POL}}$, $F_{T_{ENG}}$ e $F_{N_{ENG}}$ com $T_{MAX_{OP}}$ e T_{MIN}:

$$T_{MAX_{OP}} \begin{cases} F_{N_{POL}} = F_1 + F_2 \\ F_{T_{ENG}} \rightarrow F_{N_{ENG}} \end{cases}$$

$$T_{MIN} \begin{cases} F_{N_{POL}} \rightsquigarrow \text{Igual ao do } T_{MAX_{OP}}. \\ F_{T_{ENG}} \rightarrow F_{N_{ENG}} \rightsquigarrow \text{Calcular c/ } T_{MIN} \end{cases}$$

Usar p/ recalcular F_1 e F_2 c/ $\boxed{(F_1 - F_2)\frac{d}{2} = T_{MIN}}$

↳ Fazer os diagramas de Momento Fletor (M) e de Torçor (DT/T) p/ o caso de $T_{MAX_{OP}}$:

- Achar o M e DT das seções mais solicitadas
- Atentar que F_N's e F_T's geram Momento Fletor em planos diferentes

↳ No caderno.

(x no compr. do eixo)

$F_N \rightarrow xy$ e $F_T \rightarrow xz$

$$M = \sqrt{M_{xy}^2 + M_{xz}^2}$$

↳ Fazer os diagramas de ~~M~~ M e DT p/ o caso de T_{MIN}:

↳ Mesmo procedimento do anterior

↳ Identificar M e T (DT) na Seção Mais Solicitada em cada caso:

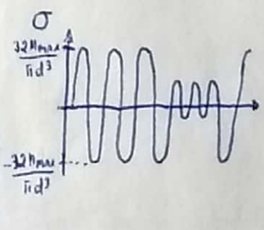
$$T_{MAX_{OP}} \begin{cases} M_{MAX} \\ T_{MAX} \end{cases} \qquad T_{MIN} \begin{cases} M_{MIN} \\ T_{MIN} \end{cases}$$

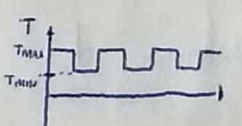
↳ Calcular as Tensões Máximas e Mínimas:

$$|\sigma_{MAX}| = \frac{M_{MAX} \cdot 32}{\pi d^3} \quad ; \quad |\sigma_{MIN}| = \frac{M_{MIN}\ 32}{\pi d^3}$$

Menor valor de M! Olhar gráficos abaixo ↓ Logo, esse M_{MIN} será o inverso do M_{MAX}... ($-M_{MAX}$)

$$\tau_{xy_{MAX}} = \frac{16\,T_{MAX}}{\pi d^3} \quad ; \quad \tau_{xy_{MIN}} = \frac{16\,T_{MIN}}{\pi d^3}$$





↳ Calcular σ_a e σ_m, sendo:

↳ Atentar p/ gráfico!

$$\sigma_{x_a} = \left(\frac{M_{MAX} - M_{MIN}}{2}\right)\frac{32}{\pi d^3} \sim \frac{\frac{32M_{MAX}}{\pi d^3} - \left(-\frac{32M_{MAX}}{\pi d^3}\right)}{2}$$

$$\sigma_{x_m} = \left(\frac{M_{MAX} + M_{MIN}}{2}\right)\frac{32}{\pi d^3} \sim \left[\frac{32M_{MAX}}{\pi d^3} + \left(-\frac{32M_{MAX}}{\pi d^3}\right)\right]\frac{1}{2} = 0$$

$$\tau_{xy_a} = \left(\frac{T_{MAX} - T_{MIN}}{2}\right)\cdot\frac{16}{\pi d^3}$$

$$\tau_{xy_m} = \left(\frac{T_{MAX} + T_{MIN}}{2}\right)\frac{16}{\pi d^3}$$

$$\left.\begin{aligned} \sigma_a &= \sqrt{\sigma_{x_a} - \sigma_{x_a}\sigma_{y_a} + \sigma_{x_a}^2 + 3\tau_{xy_a}^2} \\ \sigma_m &= \sqrt{\sigma_{x_m}^2 - \sigma_{x_m}\sigma_{y_m} + \sigma_{y_m}^2 + 3\tau_{xy_m}^2} \end{aligned}\right\} \text{Ficarão em função de } d!$$

↳ Passar os $10^6/d^3$ p/ fora!

↳ Calcular Goodman:

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_n} + \frac{\sigma_m}{\sigma_R} = \frac{1}{FS}$$

Aço	σ_R	σ_e	HB	Izod
1045	67	41	215	4
4130 TeR @593°C	89	80	280	11,5

$$\sigma_n = K_a K_b K_c K_d K_e K_f \bar{\sigma}_n \qquad \bar{\sigma}_n \begin{cases} 0{,}5\,\sigma_R, & \sigma_R \le 1400\text{ MPa} \\ 700\text{ MPa}, & \sigma_R > 1400\text{ MPa} \end{cases}$$

K_a, K_b, K_c... ~ Ver Resumo de Fadiga!

$K_a = 0{,}8$ (usinag. acab), 0,9 retif...

$K_b = 0{,}85$ $(25 < d < 250)$

$K_c = 0{,}868$ ou $0{,}814$

↳ 0,7 em tração!

$K_d = 1$

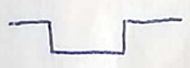
$K_e = (1 + q(K_T - 1))^{-1} \rightarrow K_F$

$K_F = 1$

K_e ~ usar $k_e = 1$ no σ_m e corrigir

$$\sigma_a = \sqrt{[(K_{F_{Flexão}})\sigma_{x_a}]^2 + 3[(K_{F_{Torção}})\tau_{xy_a}]^2}$$

↳ Nas chavetas:



$$\begin{cases} \sigma_R < 700 \rightarrow K_e = 1/1{,}6 = 0{,}625 \\ \sigma_R > 700 \rightarrow K_e = 1/2{,}0 = 0{,}5 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \sigma_R < 700 \rightarrow K_e = 1/1{,}3 = 0{,}769 \\ \sigma_R > 700 \rightarrow K_e = 1/1{,}6 = 0{,}625 \end{cases}$$

Fazer o mesmo p/ σ_m

↳ Substituir os valores de σ_n, σ_a, σ_m, σ_R e FS na fórmula de Goodman:

↳ Determinar d.

Em fadiga, foi usado FS = 2,0.

↳ Atentar p/ pedido do enunciado...

↳ Cálculo para Sobrecarga Estática:

↳ Calcular $F_{N_{POL}}$, $F_{T_{ENG}}$ e $F_{N_{ENG}}$ com $T_{MAX_{PART}}$:

$$T_{MAX_{PART}} \begin{cases} F_{N_{POL}} = F_1 + F_2 \\ F_{T_{ENG}} \rightarrow F_{N_{ENG}} \end{cases}$$

↳ Fazer os diagramas de Momento Fletor (M) e Torçor (DT):

- Achar seção mais solicitada e seus M e DT.
- Atentar p/ os diferentes planos de M

↳ No caderno:

$F_N \rightarrow xy$ e $F_T \rightarrow xz$

$$M = \sqrt{M_{xy}^2 + M_{xz}^2}$$

↳ Calcular as Tensões na Seção Mais Solicitada:

$$M \Rightarrow \sigma_x = \frac{32M}{\pi d^3} \quad ; \quad T \Rightarrow \tau_{xy} = \frac{16T}{\pi d^3}$$

↳ Estarão em função de d...

↳ Fazer Von Mises:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x\sigma_y + \sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} \sim \text{Em função de } d\ldots$$

↳ Encontrar d c/ o fator de segurança pedido:

↳ FS = 4, no caderno...

$$FS = \frac{\sigma_e}{\sigma'} \therefore \frac{\sigma_e}{FS} = \sigma' \Rightarrow \text{Encontrar } d!$$

(d > ?)

~

↳ Dimensões:

↳ Diâmetros:

- Começar pelo do rolamento ($d_{ROL} > d$); [5 em 5 mm]
- Para batentes/apoios, aumentar uns 3~4 mm no diâmetro;
- Chanfros são 1/45° (1mm com 45°);
- Retentores → Ver catálogo/pedido. Na dúvida vão de 5 em 5 mm.

↳ Comprimentos:

- Atentar p/ largura das engrenagens: b = 10m (módulo)
- Atentar p/ largura do rolamento (no caderno, ∅ = 30 e b = 25)
- Atentar p/ chanfros: 1/45° } No caderno, somavam 4 mm
- Lembrar de anéis de retenção
- Batentes → No caderno: 3 a 4 mm
- Relação eixo-cubo recomendada.

$$1 \le l/d \le 2$$ ~ Achar l c/ isso.

diam. do eixo ← ↳ No máx. 3...

Cálculo das Deflexões:

↳ Desenhar o DCL com as cargas máximas em operação:

$$T_{MAX_{OP}} \begin{cases} F_{N_{POL}} = F_1 + F_2 \\ F_{T_{ENG}} \to F_{N_{ENG}} \end{cases}$$

↳ Calcular a inércia de cada seção (m):

$$I_m = \frac{\pi d_m^4}{64}$$

↳ Calcular a inércia equivalente:

$$I_{eq} = \frac{\sum_{m=1}^{N} l_m^3 I_m}{\sum_{m=1}^{N} l_m^3}$$

↳ Calcular o diâmetro equivalente:

$$d_{eq}^4 = \frac{64 I_{eq}}{\pi} \quad \therefore \quad d_{eq} = \left[\frac{64 I_{eq}}{\pi}\right]^{1/4}$$

↱ Tabelas em rad!

↳ Calcular as flechas (f) e ângulos (α) usando I_{eq}, d_{eq} e as tabelas (Apostila e/ou Shigley)

↳ As deflexões são calculadas p/ cada caso (força) e somadas ao final;

↳ Calcular as deflexões de cada plano (xy e xz);

↳ Calcular f e α totais devido aos planos ortogonais:

$$f_{TOTAL} = \sqrt{f_{xy}^2 + f_{xz}^2} \; ; \; f_{1_{TOTAL}} = \sqrt{f_{xy}^2 + f_{xz}^2}$$

$$\alpha_{A_{TOTAL}} = \sqrt{\alpha_{A_{xy}}^2 + \alpha_{A_{xz}}^2} \; ; \; \alpha_{B_{TOTAL}} = \sqrt{\alpha_{B_{xy}}^2 + \alpha_{B_{xz}}^2}$$

$$[rad] \times \frac{180}{\pi} \times 60 = [min(')]$$

↳ Tolerâncias de deflexões angulares em rolamentos:

- Esfera: 4' - 10'
- Rolos: 2'

↳ Comprimento de trabalho de dente:

$\frac{F}{2m}$ ~ flecha na região da engrenagem
~ módulo

↳ Deflexão Torcional:

$$\theta = \frac{T.L}{G.J} \quad J = \frac{\pi d_{eq}^4}{32} \qquad G = \frac{E}{2(1+\upsilon)}$$

Poisson: $\upsilon = 0,3$

$G \cong 79.000$ MPa

$E = 210.000$ MPa

↳ Frequência Natural:

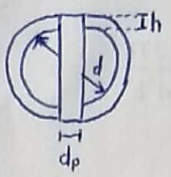
$$\omega_N \approx \sqrt{K/m} \quad (\text{massa}) \qquad K \approx \frac{EI}{L^3} \qquad f_m = \frac{1}{2\pi}\sqrt{K/m} \; ; \; K = \frac{48 E I_{eq}}{L^3}$$

↳ p/ rpm: (×60)

↳ União de Cubo com Eixo:

↳ Pinos:

~ Usar $T_{PARTIDA}$!



$$\sigma = \frac{16Th}{\pi d_p^3 d} \qquad \tau = \frac{4T}{\pi d_p^2 d}$$ Diâmetro eixo

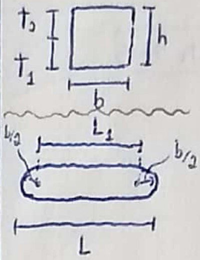
↳ Pino Vazado: ($d_p \to D_p - d_p$)

$$\sigma' = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \Rightarrow \sigma' = \frac{\sigma_e}{FS} \therefore FS = \frac{\sigma_e}{\sigma'}$$

↳ Chavetas (Tabela Sylvio → "Chavetas Paralelas Retangulares...")

↳ Escolher pela faixa de diâmetros de eixo.

↳ Teremos b, h, t_1 e t_2.



$L_1 = L - b$ ~ L é escolha nossa! Altera a resistência da chaveta. Poderemos mudar p/ que aguente.

$$\tau = \frac{2T}{L_1 b d} \qquad \sigma = \frac{6T.t_1}{db^2 L_1}$$

↓ Diâmetro do Eixo

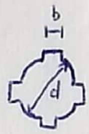
$$\sigma' = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \Rightarrow \sigma' = \frac{\sigma_e}{FS} \therefore FS = \frac{\sigma_e}{\sigma'}$$

↳ SAE 1020 ($\sigma_e \cong 333$) ; SAE 1045 ($\sigma_e \cong 402$ ou 410 (g·10))

↳ Eixos Estriados: (Tabela Sylvio ~ "União Eixos c/ Cubo - pg. 2")

↳ Diâmetro do eixo é a referência para o d_{int}.

↳ Pegar na Tabela d_{ext}, d_{int}, b e z (nº de entalhes)
(d_{ext} → D, d_{int} → d)



$$\tau_{xy} = \frac{2T}{d b L z} \qquad \sigma_x = \frac{3T(D-d)}{d z L b^2}$$

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} \Rightarrow \sigma' = \frac{\sigma_e}{FS} \therefore FS = \frac{\sigma_e}{\sigma'}$$

No exemplo, usou-se Série Leve DIN 5462...

No cálculo do σ_{vm}, pode-se passar o T p/ fora e/ou substituir L = 1 mm. Assim obteremos o T_{ADM} (por mm de cubo)! Para isso, substituir σ_{vm} por σ_{ADM}.

- Cálculo de fadiga do eixo: Usar $K_e = 1$ (ignora-se as estrias).

↳ Cubos com Movimento Axial:

$$\sigma_{COMPR} = \frac{4T}{dz(D-d)L}$$

↳ Limite P-V do material

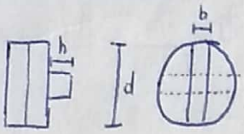
- Aço-Bronze ~ Limite P-V = 1,5 MPa m/s

Velocidade [m/s]

$$v = \frac{(Lim.\ P\text{-}V)}{\sigma_{COMPR}}$$

↳ Acoplamentos:

↳ Junta Oldham



- Modo de Falha 1:

$\tau_{xy} = \frac{4T}{bd^2}$; $\sigma_x = \frac{12Th}{d^2b^2}$

$\sigma_{ADM} \geq \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2}$

- Modo de Falha 2:

$\tau_{xy} = \frac{2T}{dbh}$; $\sigma_x = \frac{6T}{hb^2}$

$\sigma_{ADM} \geq \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2}$

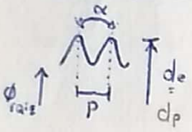
- Modo de Falha 3

$\sigma_{COMPR} = \frac{4T}{d^2h}$

$\boxed{\sigma_{COMPR} \times v < \text{limite P-V}}$

↳ Uniões Aparafusadas:

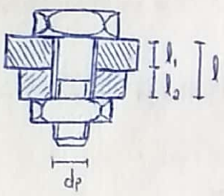
- Rosca Métrica (Tabela Sylvio → "Rosca Métrica ISO")



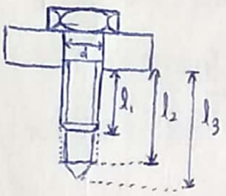
M"X" → de = X mm

Passo: P ~ há normal e fino

d_{raiz} ~ Na tabela é o "diâmetro menor (rosca ext)"



$1 \leq \frac{l}{d_p} \leq 2$ ~ l pode ser abe do perfil + chapa



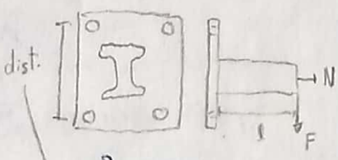
Recomendação:

$l_1 \approx d$

l_2 → pouco maior que l_1

l_3 → pouco maior que l_2

↳ Cálculo da união aparafusada



- Avaliar a carga nos parafusos:

$N \rightarrow F_{ext_N} = \frac{N}{\text{nº do parafusos}}$ | M → $F_{ext_M} = \frac{M}{\text{distância}}$ (M = F × l) ~ Por parafuso: $\frac{F_{ext_M}}{\text{nº de paraf sob tração}}$

distância entre o parafuso "de cima" e o "de baixo"

- Somar as forças externas:

$F_{ext_{TOTAL}} = F_{ext_N} + F_{ext_M}$

Torque = F × $d_{apl\ da\ força}$

$F_{TORQUE\ NO\ PARAF} = \frac{\text{Torque}}{\text{dist. do paraf ao centro}} \rightarrow Q_{TORQUE}$ (cortante)

- Escolha do parafuso:

↳ Chutar: M"X" → Passo Normal → ϕ_{raiz} (Tabela de Rosca Métrica ISO)

- Escolher Grau ~ Tabela 8-11 do Shigley

↳ Obter σ_{PROVA} e σ_{esc}

↳ $F_{PROVA} = \sigma_{PROVA} \cdot A_{raiz} = \sigma_{PROVA} \cdot \frac{\pi \phi_{raiz}^2}{4}$

$0{,}4 F_{PR} \leq F_i \leq 0{,}7 F_{PR}$ ~ $F_i = 0{,}7 F_{PR}$

↳ $F_e = \sigma_e \cdot A_{raiz} = \sigma_e \times \frac{\pi \phi_{raiz}^2}{4}$

$0{,}4 F_e \leq F_i \leq 0{,}6 F_e$ ~ $F_i = 0{,}6 F_e$

- Calcular Rigidez:

$K_p = \frac{\pi d_p^2}{4 l_p} \cdot E$

$K_m = \frac{\pi (d_c^2 - d_p^2) E}{4 l_p}$

Diam Cabeça (S na tabela)

d_p → Diâm paraf (M24 → 24mm)

l_p → compr. entre cabeça e porca

- Calcular Forças:

$F_p = F_i + \frac{K_p}{K_p + K_m} \cdot F_{ext_{TOTAL}}$

Pode pular direto p/ o cálculo dos FS's. Já entra na fórmula deles...

- Calcular os F.S.'s:

↳ FS ao Escoamento ou à Prova:

$FS_e = \frac{F_e - F_i}{\left(\frac{K_p}{K_p + K_m}\right) F_{ext}}$ ou $FS_p = \frac{F_{Prova} - F_i}{\left(\frac{K_p}{K_p + K_m}\right) F_{ext}}$

↳ F.S. à Montagem:

$FS_m = \frac{F_i}{F_{ext}\left(\frac{K_m}{K_p + K_m}\right)}$

↳ FS Global:

$F.S._g = \frac{F_e}{F_i + \left[F_{ext}\left(\frac{K_p}{K_p + K_m}\right)\right]}$

↳ Cisalhamento: (Q)

- Verificar se o Atrito Segura:

Normal = nº de Parafusos × F_i

F_{at} = Normal × μ → Deve ser menor que o Q

μ = 0,05 ou μ < 0,1

- Calcular o Momento pelo Q: ~ $Q = Q_{TORQUE} + Q_{FORÇA}$ (soma-se os Q's causados por força e Torque)

$M_Q = Q \times \left(\frac{\text{espessura da chapa}}{2}\right)$

$A_{raiz} = \frac{\pi d_{raiz}^2}{4}$

- Calcular os σ e τ:

$\sigma_x = \frac{32 \times M_Q}{\pi \phi_{raiz}^3}$ | $\sigma_{x_{TRAÇÃO}} = \frac{F_p}{A_{raiz}}$ | $\tau_{xy} = \frac{Q}{A_{raiz}}$

$\sigma_{VM} = \sqrt{(\sigma_x + \sigma_{x_{TRAÇÃO}})^2 + 3\tau_{xy}^2} \Rightarrow FS = \frac{\sigma_e}{\sigma_{VM}} > 1$

↳ Transmissão de Torque:

$T = n^{\circ}\,de_{\,paraf} \times F \times r$

↳ Fadiga nos Parafusos:

$F_{MIN} = F_i$ $\qquad$ $F_{MAX} = F_i + \left[\left(\frac{K_p}{K_p + K_m}\right) F_{ext}\right]$

$F_a = \frac{F_{MAX} - F_{MIN}}{2}$; $F_m = \frac{F_{MAX} + F_{MIN}}{2}$

- Calcular σ_a e σ_m:

$\sigma_a = \frac{F_a}{A_{raiz}}$; $\sigma_m = \frac{F_m}{A_{raiz}}$

- Calcular o σ_m:

$\sigma_m = K_a K_b K_c K_d K_e K_f \bar{\sigma}_m$

$K_a = 1$

$K_b = 0{,}7$ (tração)

$K_c = 0{,}814$

$K_d = 1$

$K_f = 1$

$K_e \sim$ Tabela 8-16 do Shigley

↳ $K_e = \frac{1}{K_f}$ → da tabela p/ o grau escolhido (laminado)

$\bar{\sigma}_m = \begin{cases} 0{,}5\,\sigma_{RT}, & \sigma_{RT} \leq 1400\,MPa \\ 700\,MPa, & \sigma_{RT} > 1400\,MPa \end{cases}$

$\sigma_{RT} \sim$ Tabela 8-11!

- Fazer Goodman:

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_m} + \frac{\sigma_m}{\sigma_{RT}} = \frac{1}{FS}$$